

**Качество электрической энергии,
современное состояние, проблемы,
предложения по их решению**



**Новосибирск
«НАУКА»
2017**

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ИНСТИТУТ СИСТЕМ ЭНЕРГЕТИКИ им. Л.А. МЕЛЕНТЬЕВА СО РАН

Качество электрической энергии

Современное состояние, проблемы,
предложения по их решению

Ответственный редактор
член-корреспондент РАН *Н.И. Воронай*



НОВОСИБИРСК
«НАУКА»
2017

УДК 621.31
ББК Н31.29:31.279
К12

Качество электрической энергии: современное состояние, проблемы и предложения по их решению / Л.И. Коверникова, В.В. Суднова, Р.Г. Шамонов и др.; отв. ред. Н.И. Воропай. – Новосибирск: Наука, 2017. – 219 с.

ISBN 978–5–02–038705–8

В монографии дается анализ современного состояния качества электрической энергии в сетях Российской Федерации по результатам измерений, рассмотрены вопросы законодательно-правового и нормативно-технического обеспечения управления качеством электрической энергии, сформулированы существующие в этой сфере проблемы, сделаны предложения по их решению.

Книга предназначена для специалистов, занимающихся вопросами качества электрической энергии всех субъектов электроэнергетики, государственных и надзорных органов, сотрудников научно-исследовательских и проектно-конструкторских институтов, образовательных учреждений, разработчиков нормативно-правовых документов, средств измерения и оборудования, аспирантов, студентов.

Табл. 25. Ил. 38. Библиогр.: 200 назв.

Р е ц е н з е н т ы

кандидат технических наук *М.А. Дубицкий*
доктор технических наук *Г.Ф. Ковалев*
доктор технических наук *В.С. Степанов*

Утверждено к печати Ученым советом
Института систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН

ISBN 978–5–02–038705–8

© Институт систем энергетики
им. Л.А. Мелентьева СО РАН, 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	5
ВВЕДЕНИЕ	8
ГЛАВА 1. КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В СОВРЕМЕННОЙ РОССИИ	10
1.1. Качество электрической энергии в электрических сетях 110 – 220 кВ России.....	10
1.2. Качество электрической энергии в сетях 0,4; 6 и 35 кВ энерго- системы Забайкальского края	16
1.3. Результаты оценки качества электрической энергии в сетях 110 кВ в «МРСК Сибири»	25
1.4. Эмиссия гармоник тока бытовыми электроприборами.....	38
ГЛАВА 2. АНАЛИЗ ЗАКОНОДАТЕЛЬНО-ПРАВОВЫХ И НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ДОКУМЕНТОВ, РЕГЛАМЕНТИРУЮЩИХ КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ	53
2.1. Правовые основы и проблемы привлечения к ответственности лиц, допустивших нарушение установленных требований к качеству поставляемой потребителям энергии	53
2.2. Развитие нормативно-технического и метрологического обеспечения и проблемы регулирования качества электрической энергии	68
2.3. Проблемы нормативно-правового регулирования в области качества электрической энергии	91
2.4. Качество – неотъемлемая характеристика электрической энергии как товара на рынке электрической энергии	98
ГЛАВА 3. ОБЯЗАТЕЛЬНАЯ СЕРТИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ	109
ГЛАВА 4. УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В МРСК, ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ СЕТЕВЫХ ОРГАНИЗАЦИЯХ	121
4.1. Система управления качеством электрической энергии в ПАО «МРСК Волги»	121
4.2. К вопросу создания единой системы обеспечения качества электрической энергии на примере энергосистемы Санкт-Петербурга	127
ГЛАВА 5. ПРОБЛЕМЫ И СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ	136
5.1. Система обеспечения качества электрической энергии в распределительных сетях	136
5.2. Организационные и технические проблемы, первоочередные задачи обеспечения качества электрической энергии.....	144
5.3. Мониторинг качества электрической энергии в электричес- ких сетях	157

5.4. Оценка вклада потребителей и сети в искажение качества электрической энергии с помощью активных энергий гармоник.....	174
5.5. Применение пассивных фильтров для централизованного снижения напряжений гармоник.....	184
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	199
Библиографический список	204
Принятые сокращения	219

ПРЕДИСЛОВИЕ

В Институте систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук в 2015 г. состоялась Всероссийская конференция «Энергетика России в XXI веке. Инновационное развитие и управление», в рамках которой успешно функционировала секция «Надежность и качество электроснабжения». Для участия в работе секции были приглашены ведущие специалисты России в области качества электрической энергии. На конференции они представили доклады, касающиеся качества электрической энергии, посвященные темам, связанным со сферой их деятельности и научных интересов. В последние годы вопрос качества электрической энергии стал очень актуален, что обусловлено ростом осведомленности потребителей, повышением требований к качеству электрической энергии и увеличением количества жалоб на низкое качество электрической энергии не только в энергоснабжающие организации, но и органы власти. Откликом на возросшие требования к качеству электрической энергии явилась активизация поиска решения проблем в этой области. Подготовленные доклады отразили наработки последнего времени. На конференции было предложено обобщить и представить в виде книги полученные результаты исследований качества электрической энергии в электрических сетях, в области законодательно-правовых и нормативно-технических документов, управления качеством электрической энергии при эксплуатации электрических сетей и поставке электрической энергии потребителям, а также сформулировать существующие проблемы и найти способы их решения.

В результате кропотливого труда целого коллектива авторов появилась настоящая книга. Во введении представлены аргументы в пользу необходимости поддерживать качество электрической энергии в соответствии с установленными требованиями, в том числе в связи с формированием интеллектуальных систем электроснабжения, в которых высокое качество электрической энергии должно стать «краеугольным камнем».

В гл. 1 приведены результаты измерений показателей качества электрической энергии в электрических сетях на всей территории России, свидетельствующие о нарушениях нормативных требований, установленных ГОСТом 32144–2013, кроме того, в данной главе представлен материал о широком распространении бытовых электроприемников, искажающих качество электрической энергии.

В гл. 2 рассмотрены вопросы законодательно-правового и нормативно-технического регулирования в области качества электрической энергии, отношений энергоснабжающих организаций и потребителей, а также актуальные проблемы, без решения которых повышение качества электрической энергии невозможно.

В гл. 3 представлены результаты мероприятий по обязательной сертификации электрической энергии, дается оценка ее влияния на развитие системы управления качеством электрической энергии, рассмотрены предложения по ее совершенствованию.

В гл. 4 отражен опыт работы в области контроля, мониторинга и управления качеством электрической энергии в электрических сетях, сделаны предложения по созданию единой системы управления качеством электрической энергии.

В гл. 5 на основе проведенного анализа сформулированы проблемы, существующие в настоящее время в электроэнергетике в сфере качества электрической энергии, описаны конкретные способы их решения.

Ниже представлена краткая информация об авторах-единомышленниках, написавших данную книгу, посвященную актуальнейшей для энергетики России проблеме – качеству электрической энергии.

Авторский коллектив

Бекбулатов Рустам Рамазанович – начальник отдела контроля качества электроэнергии Департамента метрологии и контроля качества электроэнергии ПАО «МРСК Волги» (разд. 4.1, 5.1),

Боровиков Вячеслав Сергеевич – инженер Национального исследовательского Томского политехнического университета (разд. 1.3),

Головщиков Владимир Олегович – главный специалист отдела электроэнергетических систем Института систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук, кандидат технических наук, старший научный сотрудник (разд. 2.4),

Коверникова Лидия Ивановна – старший научный сотрудник отдела электроэнергетических систем Института систем энергетики им. Л.А. Мелен-

тьева Сибирского отделения Российской академии наук, кандидат технических наук (разд. 5.3 – 5.5, Предисловие, Введение, Заключение),

Козлов Всеволод Валерьевич – начальник испытательной лаборатории электрической энергии АНО «ЭлектроСертификация» (гл. 3),

Комарова Елена Анатольевна – ведущий инженер отдела контроля качества электроэнергии Департамента метрологии и контроля качества электроэнергии ПАО «МРСК Волги» (разд. 4.1, 5.1),

Никифоров Владимир Васильевич – заместитель генерального директора ООО «ЛИНВИТ», кандидат технических наук, доцент (разд. 2.2),

Романова Виктория Викторовна – аспирант кафедры электроэнергетики и электротехники Забайкальского государственного университета (разд. 1.2),

Серков Алексей Владимирович – управляющий партнер Адвокатского бюро «А. Серков и Партнеры» (Москва) (разд. 2.1),

Суворов Иван Флегонтович – профессор кафедры электроэнергетики и электротехники Забайкальского государственного университета, доктор технических наук (разд. 1.2),

Суднова Валентина Викторовна – исполнительный директор АНО «ЭлектроСертификация», кандидат технических наук, старший научный сотрудник (гл. 3),

Тульский Владимир Николаевич – Национальный исследовательский университет «МЭИ», доцент, кандидат технических наук (разд. 1.1, 5.3),

Фатыхов Валерий Мажитович – начальник службы метрологии и контроля качества электроэнергии филиала ПАО «МРСК Волги» – «Мордовэнерго» (разд. 4.1, 5.1),

Хромов Сергей Владимирович – аспирант кафедры электроэнергетики и электротехники Забайкальского государственного университета (разд. 1.2),

Цырук Сергей Александрович – заведующий кафедрой электроснабжения промышленных предприятий Национального исследовательского университета «МЭИ», кандидат технических наук, (разд. 1.4),

Шамонов Роман Геннадьевич – заместитель начальника Департамента оперативно-технологического управления, начальник отдела электрических режимов ПАО «Федеральной сетевой компании Единой энергетической системы», кандидат технических наук (разд. 1.1, 2.3, 5.2, 5.3),

Шпак Дмитрий Александрович – начальник отдела управления качеством электроэнергии Филиала ПАО «Ленэнерго» – «Кабельная сеть» (разд. 4.2),

Янченко Сергей Александрович – доцент кафедры электроснабжения промышленных предприятий Национального исследовательского университета «МЭИ», кандидат технических наук (разд. 1.4).

ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение необходимого качества электрической энергии – это проблема, которая присутствует на всех этапах существования электрической энергии, включая генерацию, передачу, распределение и потребление. Основным параметром и показателем качества электрической энергии принято считать напряжение и его качество. В настоящее время требования к качеству напряжения установлены в ГОСТе 32144–2013 для сетей общего назначения до 220 кВ включительно [1]. Задачей управления качеством электрической энергии является обеспечение технически допустимых значений показателей качества на зажимах электроприемников электрической энергии. Отклонение показателей качества от допустимых значений приводит к нарушению нормальной работы электроприемников, сокращению их срока службы, возникновению брака продукции, снижению производительности в промышленности, т.е. к различному ущербу. Экономический ущерб от низкого качества электрической энергии в России, с точки зрения одного из экспертов [2], составляет «по минимальной оценке около 25 млрд долларов в год». Принимая во внимание значимость электрической энергии в жизни людей, огромные размеры энергетической системы России, весьма ощутимый ежегодный ущерб экономике из-за низкого качества электрической энергии, следует констатировать, что обеспечение качества электрической энергии является важнейшей государственной задачей, решать которую нужно комплексно на основе системного подхода.

До принятия федеральных законов «О техническом регулировании» [3] и «Об электроэнергетике» [4] проблема обеспечения надлежащего качества электрической энергии решалась как государственная задача. В области управления качеством электрической энергии были получены значительные результаты, соответствующие достигнутому уровню средств измерения показателей качества электрической энергии. Именно средства измерения показателей качества напряжения дали возможность сделать следующий шаг в решении задачи улучшения качества электрической энергии. Наивысшим достижением в управлении качеством электрической энергии к мо-

менту принятия двух названных выше законов следует признать вступление в действие двух документов: «Правил присоединения потребителей к сети общего назначения по условиям влияния на качество электроэнергии» [5], «Правил применения скидок и надбавок к тарифам за качество электроэнергии» [6]. Появились экономические механизмы управления качеством электрической энергии. После принятия закона «О техническом регулировании» выполнение требований государственного стандарта качества электрической энергии стало добровольным, и правила оказались ненужными. С принятием закона «Об электроэнергетике» появилось много субъектов электроэнергетики, каждый из которых в первую очередь стал решать свои задачи для удовлетворения собственных интересов. Таким образом, проблема качества электрической энергии оказалась второстепенной. В последние несколько лет из-за ухудшения качества электрической энергии и значительного количества жалоб потребителей данной проблеме уделяется больше внимания. Но в условиях рыночных отношений приходится почти с самого начала начинать формирование системы обязанностей и ответственности поставщиков и потребителей электрической энергии за ее качество.

В материалах, представленных авторами настоящей книги, раскрывается современное состояние качества электрической энергии в электрических сетях, а также состояние и проблемы законодательно-правовой и нормативно-технической базы в области качества электрической энергии, представлены опыт управления качеством электрической энергии и предложения по созданию системы обеспечения надлежащего качества электрической энергии в электрических сетях.

Предлагаемая книга является первой за время, прошедшее после принятия закона «Об электроэнергетике», в которой специалистами из различных областей электроэнергетики описывается реальная ситуация, сложившаяся в сфере качества электрической энергии. Авторы надеются, что их работа привлечет внимание к данной проблеме государственные органы управления и объединит специалистов всех субъектов электроэнергетики, занимающихся эксплуатацией, управлением, проектированием электрических сетей, а также заинтересованных лиц, представителей научных и образовательных учреждений, производителей средств измерения и технических средств для улучшения качества электрической энергии для решения общей проблемы обеспечения качества электрической энергии.

ГЛАВА 1. КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В СОВРЕМЕННОЙ РОССИИ

1.1. Качество электрической энергии в электрических сетях 110–220 кВ в России

Организационные и технологические изменения последних десятилетий в электроэнергетике России требуют выработки новых подходов к обеспечению необходимого качества электрической энергии в электрических сетях. Разделение вертикально интегрированных компаний на независимые генерирующие, сетевые и сбытовые, а также субъекты оперативно-диспетчерского управления привело к усложнению решения организационных задач по управлению качеством электрической энергии и размыванию ответственности поставщиков электрической энергии перед потребителями за ненадлежащие надежность и качество электроснабжения. Ряд изменений в нормативно-правовом поле, в частности перевод государственных стандартов в разряд документов добровольного применения в соответствии с Федеральным законом «О техническом регулировании» [1], также не способствовал поддержанию качества электрической энергии в электрических сетях.

В настоящее время активное использование электроприемников с нелинейными вольт-амперными характеристиками сопровождается широкой информатизацией и автоматизацией всех видов высокотехнологических процессов производства. Эти процессы приводят к ситуации, при которой на фоне снижения качества электрической энергии стремительно возрастает ущерб потребителей, вызываемый низким качеством электрической энергии, а следовательно, растут и их требования к надежности и качеству электроснабжения. В то же время развитие средств регулирования параметров электрических режимов на электростанциях и в электрических сетях предоставляет новые возможности для решения технических задач управления качеством электрической энергии.

Для оценки состояния качества электрической энергии в ЕЭС России нами выполнен обзор результатов измерений показателей качества электрической энергии в электрических сетях 110–220 кВ за последние годы. При анализе использовалась информация, полученная при измерениях, в которых принимали непосредственное участие сами авторы, а также из публикаций, в которых представлены данные измерений других исследователей [2, 3]. Полученные результаты следует рассматривать в качестве индикаторов, характеризующих состояние качества электрической энергии в распределительных сетях. На рис. 1.1–1.7 представлены карты, отражающие качество электрической энергии в различных регионах нашей страны по следующим показателям: отклонениям напряжения ($\delta U_{(-)}$, $\delta U_{(+)}$); коэффициентам n -ой гармонической составляющей напряжения ($K_{U(n)}$); суммарному коэффициенту гармонических составляющих напряжения (K_U); коэффициенту несимметрии напряжения по обратной последовательности (K_{2U}) [4]. На картах приняты следующие обозначения: $\circ$ – отклонение напряжения; $\square$ – несинусоидальность напряжения; $\triangle$ – несимметрия напряжения по обратной последовательности. Цвет значков обозначает различные нарушения: $\blacksquare$ – на большинстве объектов региона; $\boxtimes$ – в отдельных энергорайонах региона; $\boxdot$ – на отдельных объектах региона; $\square$ – не зафиксированы.



Рис. 1.1. Карта качества электрической энергии в Северо-Западном федеральном округе.

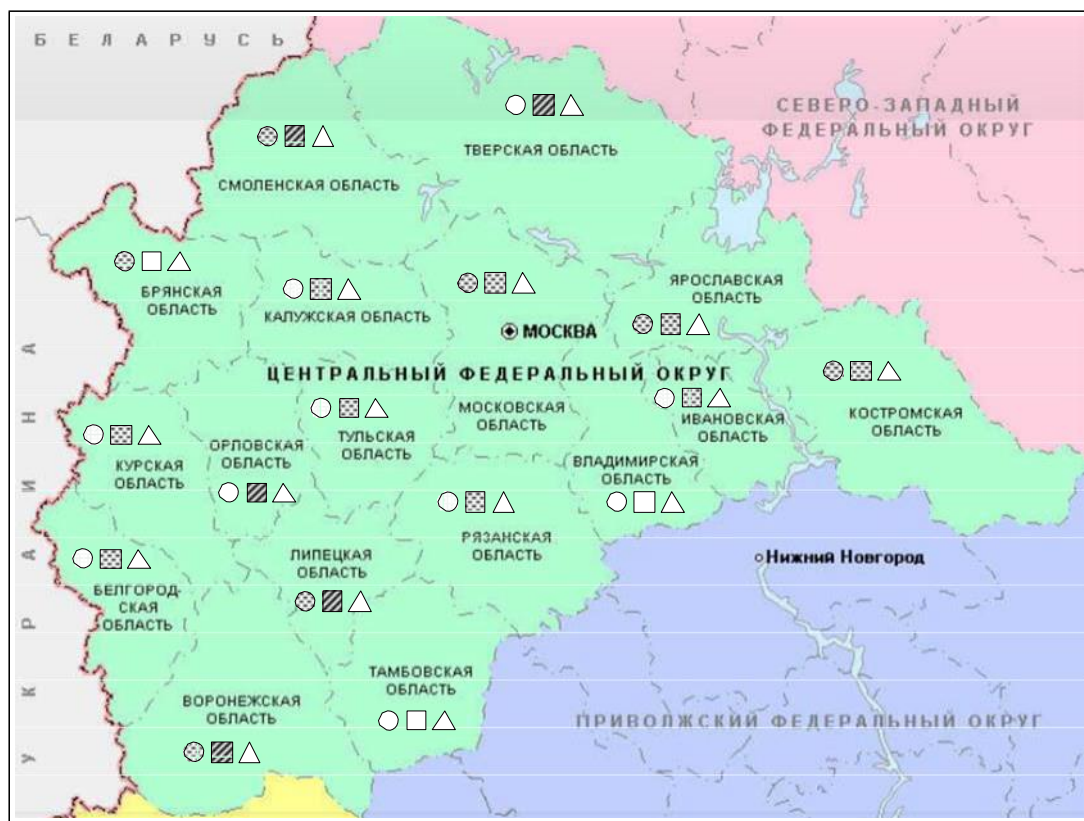


Рис. 1.2. Карта качества электрической энергии в Центральном федеральном округе.



Рис. 1.3. Карта качества электрической энергии в Южном и Северо-Кавказском федеральных округах.



Рис. 1.4. Карта качества электрической энергии в Приволжском федеральном округе.



Рис. 1.5. Карта качества электрической энергии в Уральском федеральном округе.



Рис. 1.6. Карта качества электрической энергии в Сибирском федеральном округе.



Рис. 1.7. Карта качества электрической энергии в Дальневосточном федеральном округе.

Для $\delta U_{(-)}$ и $\delta U_{(+)}$ были приняты допущения, что значения показателей являются неудовлетворительными, если зафиксированы очень высокие (более 10 % от номинального) или низкие (ниже номинального значения), а также диапазон изменения величин показателей в течение суток составляет более 5 %. Такие границы определены, исходя из возможности обеспечить требования п. 1.2.23 «Правил устройства электроустановок» [5] на стороне низкого напряжения

трансформаторов 110–220/6–10 кВ и реализовать принцип встречного регулирования напряжения на шинах центров питания.

Можно утверждать, что для энергорайонов с подобными характеристиками изменения напряжения в сетях 110–220 кВ с учетом текущего состояния средств регулирования (устройств РПН и управляющих ими АРНТ) в распределительных сетях требования действующего стандарта [4] для $\delta U_{(-)}$ и $\delta U_{(+)}$ выполнить затруднительно.

Результаты анализа позволяют сделать следующие выводы о состоянии качества электрической энергии в электрических сетях России:

- нарушения требований действующего стандарта [4] имеют массовый и систематический характер во многих энергосистемах;
- наибольшие уровни K_U и $K_{U(n)}$ наблюдаются в электрических сетях, питающих электрифицированную железную дорогу переменного тока, алюминиевые заводы и крупные металлургические предприятия;
- нарушения K_{2U} имеют место в электрических сетях, питающих электрифицированную железную дорогу переменного тока;
- неудовлетворительные значения $\delta U_{(-)}$ и $\delta U_{(+)}$, как правило, наблюдаются в дефицитных энергосистемах с протяженными электрическими сетями и недостаточным количеством средств компенсации реактивной мощности.

Следует особо отметить отсутствие нарушений требований стандарта по показателю отклонения частоты благодаря системному подходу к решению задачи повышения качества регулирования частоты в ЕЭС, реализуемому в течение последних 15 лет.

Данный пример позволяет считать реалистичным обеспечение качества электрической энергии и по другим показателям. По нашему мнению, в основе данного процесса должно лежать совершенствование нормативно-правовой базы в области качества электрической энергии.

1.2. Качество электрической энергии в сетях 0,4; 6 и 35 кВ энергосистемы Забайкальского края

В настоящем разделе обобщены результаты исследований качества электрической энергии в узлах сетей 0,4; 6 и 35 кВ энергосистемы Забайкальского края. Основанием для проведения исследований явилось его состояние, с которым связывают частые выходы из строя бытовой техники, электродвигателей и т.д., а также большое количество претензий потребителей к качеству электрической энергии, поставляемой энергоснабжающими ПАО «МРСК Сибири» и ОАО «РЖД».

Энергосистема Забайкальского края охватывает территорию Забайкальского края и входит в ОЭС Сибири. Основными потребителями электрической энергии являются население и Забайкальская железная дорога. Железная дорога потребляет значительную долю электрической энергии. По данным АО «Читаэнергосбыт», в 2013 г. на долю железной дороги приходилось 43 % от общего потребления электрической энергии, в 2014 г. – 44,5 % и 2015 г. – 44,8 %.

В Забайкальском крае имеется небольшое количество источников генерации электрической энергии. Наиболее крупными с мощностями более 100 МВА являются Читинская ТЭЦ–1 с установленной мощностью 452,8 МВт, Харанорская ГРЭС с установленной мощностью 655 МВт и ТЭЦ Приаргунского производственного горно-химического объединения с установленной мощностью 410 МВт [6]. Остальная электрическая энергия в край поступает из ОЭС Сибири через республику Бурятия по линиям 220 кВ. Забайкальская энергосистема не имеет устойчивой связи с ОЭС Востока. Они не синхронизированы по частоте. Энергосистема Забайкальского края находится в так называемом энергетическом тупике [6].

С целью объединения энергозон на подстанции «Могоча–220 кВ» был реализован инновационный проект по строительству вставки постоянного тока на базе статического компенсатора реактивной мощности «СТАТКОМ», который должен был обеспечить принудительное потокораспределение, нормативные уровни напряжения, повышение устойчивости связи Сибирь–Восток и надежное электроснабжение энергорайона Байкало-Амурской магистрали и Транссибирской железной дороги, как на территории Забайкальской, так и Амурской энергосистем [7]. Но на сегодняшний день данное

техническое решение не обеспечило ожидаемого результата в виду нестабильной работы преобразовательного комплекса.

В Забайкальском крае слабо развиты районные распределительные сети, которые удалены от источников генерации. Тяговые подстанции являются основным источником электрической энергии для небольших населенных пунктов и предприятий горной промышленности.

Измерения показателей качества электрической энергии проводились в распределительных сетях Забайкальской энергосистемы. Объектами исследований были различные предприятия, в том числе получающие питание от тяговых подстанций Забайкальской железной дороги. Исследования осуществлялись в течение 2012–2016 гг. сотрудниками кафедры Электроэнергетики и электротехники энергетического факультета Забайкальского государственного университета, а также испытательной лаборатории по качеству электрической энергии филиала ПАО «МРСК Сибири» – «Читаэнерго».

Измерения показателей качества электрической энергии [8–12] были выполнены:

- в распределительном устройстве 0,4 кВ (РУ–0,4 кВ) подстанции котельной пос. Новая Чара АО «Тепловодоканал»;
- в распределительном устройстве 0,4 кВ (РУ–0,4 кВ) насосной второго подъёма ООО «Гарант» пос. Новоорловск;
- в вводно-распределительном устройстве 0,4 кВ (ВРУ–0,4 кВ) Могочинской центральной районной больницы г. Могоча;
- в вводно-распределительном устройстве 0,4 кВ (ВРУ–0,4 кВ) муниципального редакционно-издательского предприятия «Могочинский рабочий»;
- в распределительном устройстве 6 кВ 1-й системы шин на подстанции 220/110/10/6 кВ г. Могоча;
- на шинах 6 кВ подстанции «Давенда», питающей ЗАО «Александровский рудник»;
- в распределительном устройстве 35 кВ в точке присоединения ВЛ–241 к 1-й системе шин на тяговой подстанции «Урюм–220/35/27,5/10 кВ»;
- в распределительном устройстве 35 кВ в точке присоединения ВЛ–242, питающей ОАО «Прииск Усть–Кара», ко 2-й системе шин на тяговой подстанции «Урюм–220/35/27,5/10 кВ».

Для измерения показателей качества электрической энергии применялись приборы «Энергомонитор 3.3.Т», «Прорыв-КЭ» и «ПАРМА РК3.01».

Результаты измерений приведены в табл. 1.1–1.8. В таблицах представлены измеренные значения только для тех показателей, которые хотя бы в одной из фаз превысили нормативные значения, установленные в [4]. Измеренные значения, превысившие нормы, выделены жирным шрифтом. В таблицах также приведены нормативные значения для показателей.

В табл. 1.1 представлены результаты измерений показателей качества электрической энергии в РУ–0,4 кВ подстанции котельной пос. Новая Чара АО «Тепловодоканал». Во время измерений подстанция получала электрическую энергию от подстанции «Чара–220/110/35/10 кВ» Забайкальской энергосистемы со стороны подстанции Таксимо по линии 10 кВ. Измерения проводились в течение 7 суток с 02.07.2014 г. по 09.07.2014 г. Из табл. 1.1 видно, что превышены нормативные значения двух показателей: $K_{U(15)}$ в 1,4–1,6 раза и $K_{U(21)}$ в 1,1–2,2 раза.

Т а б л и ц а 1.1

Показатели качества электрической энергии, %

Показатель	Время измерений	Измеренные значения			Норма
		фаза А	фаза В	фаза С	
$K_{U(15)}$	95	0,45	0,44	0,48	0,30
	100	0,62	0,65	0,70	0,45
$K_{U(21)}$	95	0,23	0,22	0,25	0,20
	100	0,38	0,65	0,59	0,30

В табл. 1.2 представлены результаты измерений и анализа показателей качества электрической энергии, полученные во ВРУ–0,4 кВ муниципального редакционно-издательского предприятия «Могочинский рабочий». Измерения проводились в течение 6 суток с 15.01.2013 г. по 21.01.2013 г.

Из данных табл. 1.2 следует, что превышены нормативные значения показателей $\delta U_{(-)}$ и $\delta U_{(+)}$ в 1,3 раза в одной из фаз и K_U . Для $K_{U(3)}$ наблюдалось отклонение от нормы во всех трех фазах в 1,3–2 раза. Незначительно превышена норма для $K_{U(15)}$: в 1,1 раза в фазе С для 95 % времени измерения. $K_{U(21)}$ превышает нормативное значение во всех фазах в 1,2–1,5 раза, величина показателя лежит в

интервале от 0,26 до 0,4 %. Превышено нормативное значение K_{2U} , а именно, 1,7–2 раза. Превышение нормативного значения для K_{0U} составляет более чем 1,8 раза.

В табл. 1.3 приведены результаты измерений и анализа показателей качества электрической энергии в РУ–0,4 кВ насосной второго подъема ООО «Гарант» пос. Новоорловск. Основным потребителем электрической энергии РУ–0,4 кВ насосной являются насосы с асинхронными электродвигателями мощностью 160 кВт, управление которыми осуществляется частотными преобразователями. В ходе измерений питание насосной производилось от районной подстанции «Дарасун–220/110 кВ» через подстанцию «Орловский ГОК–110/35/6 кВ» Забайкальской энергосистемы.

Измерения проводились в течение 7 суток с 10.10.2016 г. по 17.10.2016 г. Из табл. 1.3 следует, что значительно превышены нормы для двух показателей: $K_{U(15)}$ в 3,2–4,8 раза и $K_{U(21)}$ в 3,2–5,4 раза. В двух фазах имеет место превышение $K_{U(9)}$ в 1,2 и 1,4 раза, а также $K_{U(5)}$, $K_{U(7)}$, K_U и K_{2U} примерно в 1,1 раза.

Т а б л и ц а 1.2

Показатели качества электрической энергии, %

Показатель	Время измерений	Измеренные значения			Норма
		фаза А	фаза В	фаза С	
$\delta U_{(-)}$	100	12,46	4,16	8,81	10,0
$\delta U_{(+)}$	100	6,36	13,03	6,97	10,0
$K_{U(3)}$	95	8,48	7,92	9,98	5,0
	100	11,30	9,90	11,60	7,5
$K_{U(15)}$	95	0,30	0,24	0,34	0,3
	100	0,40	0,30	0,40	0,45
$K_{U(21)}$	95	0,30	0,24	0,26	0,2
	100	0,40	0,30	0,30	0,3
K_U	95	2,92	0,83	2,52	8,0
	100	11,60	10,20	12,10	12,0
K_{2U}	95	3,3			2,0
	100	8,32			4,0
K_{0U}	95	3,6			2,0
	100	7,35			4,0

Т а б л и ц а 1.3

Показатели качества электрической энергии, %

Показатель	Время измерений	Измеренные значения			Норма
		фаза А	фаза В	фаза С	
$K_{U(5)}$	95	6,80	6,04	6,60	6,0
	100	7,99	7,36	7,69	9,0
$K_{U(7)}$	95	4,57	5,20	4,93	5,0
	100	5,32	5,62	5,43	7,5
$K_{U(9)}$	95	1,33	2,12	1,73	1,5
	100	2,18	3,22	2,73	2,25
$K_{U(15)}$	95	1,03	1,23	1,43	0,3
	100	1,46	1,64	1,95	0,45
$K_{U(21)}$	95	0,85	0,82	1,08	0,2
	100	1,16	0,96	1,34	0,3
K_U	95	8,78	8,56	8,42	8,0
	100	9,77	9,86	9,30	12,0
K_{2U}	95	2,22			2,0
	100	3,46			4,0

В табл. 1.4 приведены результаты измерений и анализа показателей качества электрической энергии во ВРУ–0,4 кВ Могочинской центральной районной больницы. В ходе измерений питание объекта осуществлялось от 1-й системы шин РУ–6 кВ районной подстанции «Могоча–220/110/10/6 кВ» по линии 6 кВ. Измерения проводились в течение 6 суток с 15.01.2013 г. по 21.01.2013 г. Из табл. 1.4, следует, что в двух фазах превышено нормативное значение $\delta U_{(-)}$, незначительно превышены в двух фазах значения $K_{U(3)}$ и более чем в 2 раза K_{2U} и K_{0U} .

Т а б л и ц а 1.4

Показатели качества электрической энергии, %

Показатель	Время измерений	Измеренные значения			Норма
		фаза А	фаза В	фаза С	
$\delta U_{(-)}$	100	12,45	12,49	6,31	10,0
$K_{U(3)}$	95	5,08	4,44	5,32	5,0
	100	5,57	4,87	5,78	7,5
K_{2U}	95	4,82			2,0
	100	7,09			4,0
K_{0U}	95	4,94			2,0
	100	6,35			4,0

В табл. 1.5 приведены результаты измерений и анализа показателей качества электрической энергии в РУ–6 кВ 1-й системы шин подстанции г. Могоча. Измерения проводились в течение 6 суток с 15.01.2013 г. по 21.01.2013 г. одновременно с измерениями, данные которых приведены в табл. 1.4.

Т а б л и ц а 1.5

Показатели качества электрической энергии, %

Показатель	Время измерений	Измеренные значения для междуфазных напряжений			Норма
		АВ	BC	СА	
$\delta U_{(+)}$	100	7,54	11,50	12,90	10,0
$K_{U(3)}$	95	4,98	5,05	4,79	3,0
	100	5,51	5,55	5,35	4,5
K_U	95	6,49	6,08	6,45	5,0
K_{2U}	95	5,6			2,0
	100	8,13			4,0

В результате анализа измерений, выполненных на 1-й системе шин 6 кВ подстанции г. Могоча, выявлены превышения нормативных значений для $\delta U_{(+)}$ максимально в 1,3 раза, для $K_{U(3)}$ – в 1,7 и K_{2U} – в 2,8 раза. Поскольку Могочинская центральная районная больница была запитана также от 1-й системы шин РУ–6 кВ подстанции «Могоча–220/110/10/6 кВ», то представляется интересным сравнение измеренных показателей табл. 1.4 и 1.5. Из таблиц видно, что с понижением напряжения значения показателей K_{2U} улучшаются на 16 %, а $K_{U(3)}$ – возрастает на 1,1 %. Возможно, увеличение последнего показателя связано с использованием специальной медицинской аппаратуры.

В табл. 1.6 приведены результаты измерений и анализа показателей качества электрической энергии на шинах 6 кВ подстанции «Давенда–35/6 кВ». Районная подстанция «Жирекен–220/110/10 кВ» по линиям 110 кВ питает подстанцию «Давенда–35/6 кВ», от которой получает питание ЗАО «Александровский рудник».

Измерения проводились в течение 7 суток с 14.10.2014 г. по 21.10.2014 г. В результате анализа измеренной информации выявлены незначительные отклонения от норм показателей $K_{U(3)}$, $K_{U(5)}$, K_U , K_{2U} .

Т а б л и ц а 1.6

Показатели качества электрической энергии, %

Показатель	Время измерений	Измеренные значения для междуфазных напряжений			Норма
		АВ	ВС	СА	
$K_{U(3)}$	95	3,79	4,29	3,20	3,0
	100	4,44	5,97	5,52	4,5
$K_{U(5)}$	95	4,74	4,88	4,27	4,0
	100	7,35	6,54	5,42	6,0
K_U	95	5,88	7,39	4,99	5,0
	100	8,51	9,97	6,06	8,0
K_{2U}	95	2,99			2,0
	100	4,07			4,0

В табл. 1.7 приведены результаты измерений и анализа показателей качества электрической энергии в точке присоединения ВЛ–241 к 1-й системе шин 35 кВ тяговой подстанции «Урюм–220/35/27,5/10 кВ». Питание ВЛ–241 осуществлялось от шин 35 кВ трансформатора Т1, а контактной сети от шин 27,5 кВ этого же трансформатора. В конце ВЛ–241 подключен первый трансформатор подстанции «Усть–Кара–35/6 кВ», от которого питается пос. Усть–Кара. Измерения проводились в течение 7 суток с 28.06.2012 г. по 05.07.2012 г. Из табл. 1.7 видно, что по всем показателям качества электрической энергии имеются значительные превышения нормативных значений.

Т а б л и ц а 1.7

Показатели качества электрической энергии, %

Показатель	Время измерений	Измеренные значения для междуфазных напряжений			Норма
		АВ	ВС	СА	
$\delta U_{(-)}$	100	10,51	4,33	3,97	10,0
$\delta U_{(+)}$	100	12,52	13,22	13,14	10,0
$K_{U(3)}$	95	7,41	7,72	5,46	3,0
	100	9,50	9,30	8,40	4,5
$K_{U(5)}$	95	3,98	2,57	3,12	3,0
	100	5,10	3,30	4,80	4,5
$K_{U(7)}$	95	5,23	3,74	3,51	2,5
	100	6,70	4,80	5,40	3,75

$K_{U(9)}$	95	3,67	3,04	1,95	1,0
	100	4,70	3,90	3,00	1,5
$K_{U(11)}$	95	3,51	2,91	2,73	2,0
	100	4,50	3,50	4,20	3,0
$K_{U(13)}$	95	4,99	3,51	3,84	1,5
	100	6,40	4,50	5,90	2,25
$K_{U(15)}$	95	1,95	1,41	2,34	0,3
	100	2,50	1,70	3,60	0,45
$K_{U(21)}$	95	0,58	0,47	0,52	0,2
	100	0,70	0,60	0,80	0,3
$K_{U(25)}$	95	1,09	0,75	0,78	1,0
K_U	95	6,70	5,60	6,20	4,0
	100	13,40	10,00	9,20	6,0
K_{2U}	95	3,4			2,0
	100	10,99			4,0

В табл. 1.8 приведены результаты измерений и анализа показателей качества электрической энергии в точке присоединения воздушной линии ВЛ–242 ко 2-й системе шин 35 кВ тяговой подстанции «Урюм–220/35/27,5/10 кВ». Во время измерений выключатель между 1-й и 2-й секциями шин был включен, т.е. ВЛ–241 и ВЛ–242 были подключены к трансформатору Т1 и от этого же трансформатора питалась контактная сеть 27,5 кВ. В конце ВЛ–242 подключен второй трансформатор подстанции «Усть–Кара–35/6 кВ», от которой питаются драги с тиристорными электроприводами. Измерения проводились в течение 7 суток с 28.06.2012 г. по 05.07.2012 г.

Т а б л и ц а 1.8

Показатели качества электрической энергии, %

Показатель	Время измерений	Измеренные значения для междуфазных напряжений			Норма
		AB	BC	CA	
$\delta U_{(-)}$	100	10,47	3,85	3,99	10,0
$\delta U_{(+)}$	100	12,57	13,83	13,25	10,0
$K_{U(3)}$	100	9,60	9,60	8,20	4,5
$K_{U(5)}$	95	3,06	3,10	3,59	3,0
	100	5,40	3,40	4,50	4,5
$K_{U(7)}$	95	3,83	3,10	2,80	2,5
	100	6,70	5,00	4,50	3,75

$K_{U(9)}$	100	4,40	4,00	3,00	1,5
$K_{U(11)}$	95	2,38	2,04	2,26	2,0
	100	4,60	3,30	4,20	3,0
$K_{U(13)}$	95	2,22	1,76	2,24	1,5
	100	6,70	4,60	5,70	2,25
$K_{U(15)}$	95	0,62	0,64	0,78	0,3
	100	2,40	1,50	3,20	0,45
$K_{U(21)}$	95	0,40	0,30	0,44	0,2
	100	0,80	0,60	0,90	0,3
$K_{U(23)}$	95	1,01	0,50	1,27	1,0
$K_{U(25)}$	95	0,90	1,01	1,03	1,0
	100	1,50	1,00	1,20	1,5
K_U	95	6,92	5,80	5,92	4,0
	100	13,50	11,00	9,00	6,0
K_{2U}	95	3,42			2,0
	100	11,2			4,0

Поскольку линии ВЛ–241 и ВЛ–242 подключены к одному силовому трансформатору, который питает и тяговую нагрузку, то целесообразно сравнить измеренные показатели из табл. 1.7 и 1.8. Приняв за базовые измеренные значения показателей 1-й системы шин 35 кВ тяговой подстанции «Урюм–220/35/27,5/10 кВ» можно сделать следующие выводы. Показатели $\delta U_{(-)}$ и $\delta U_{(+)}$ изменяются незначительно. Показатель $K_{U(3)}$ при 100 % времени измерения практически не изменяется. Показатели $K_{U(7)}$, $K_{U(9)}$, $K_{U(11)}$, $K_{U(13)}$, $K_{U(21)}$ при 100 % времени измерений изменяются незначительно, а при 95 % значительно, при этом K_U и K_{2U} практически не изменяются. Такие изменения показателей качества на разных фидерах 35 кВ, подключенных к одному силовому трансформатору, можно объяснить разным характером нагрузок линий ВЛ–241 и ВЛ–242, т.е. кроме тяговой нагрузки Забайкальской железной дороги наблюдается влияние на показатели и других видов нагрузок.

На основании анализа показателей качества электрической энергии в узлах сетей 0,4; 6 и 35 кВ энергосистемы Забайкальского края сделаны следующие выводы. Величины показателей в узлах сетей 0,4; 6 и 35 кВ энергосистемы Забайкальского края изменяются в широких пределах. Питание объектов от ОЭС Сибири обеспечивает лучшее качество электрической энергии. С понижением напряжения показатели улучшаются, но могут превышать нормативные зна-

чения как в сетях до 1 кВ, так и в сетях 6 и 35 кВ. В сетях, связанных с тяговой нагрузкой, наблюдается значительное отклонение от установленных норм значений K_{0U} , K_{2U} , $K_{U(3)}$, $K_{U(5)}$, $K_{U(7)}$, $K_{U(9)}$, $K_{U(11)}$, $K_{U(13)}$, $K_{U(15)}$, $K_{U(21)}$. Наиболее высокие значения показателей зафиксированы на объектах, расположенных в Могочинском районе Забайкальского края. Особое внимание стоит уделить тяговой подстанции «Урюм–220/35/27,5/10 кВ». В сетях, которые не связаны с тяговой нагрузкой, наблюдается отклонение от установленных норм значений K_{0U} , K_{2U} , $K_{U(3)}$, $K_{U(5)}$, $K_{U(15)}$, $K_{U(21)}$. Сравнительно малое количество искажений в низковольтных сетях можно объяснить их удаленностью от тяговых сетей Забайкальской железной дороги и питанием от районных подстанций 220 кВ Забайкальской энергосистемы. Общий вывод – качество электрической энергии в обследованных сетях Забайкальской энергосистемы не соответствует требованиям, установленным в [4].

1.3. Результаты оценки качества электрической энергии в сетях 110 кВ «МРСК Сибири»

Инструментальное обследование распределительных электрических сетей 110 кВ «МРСК Сибири» проводилось в 2009–2010 гг. Цель обследования – оценка качества электрической энергии в трехфазных сетях. Для измерений случайным образом были выбраны от пяти до десяти подстанций в энергосистемах «Алтайэнерго», «Красэнерго», «Кузбассэнерго–РЭС», «Омскэнерго», «Читаэнерго» [13]. В «Бурятэнерго» измерения были проведены на девятнадцати подстанциях.

Измерения показателей качества электрической энергии выполнялись комплектом приборов «AR–5» фирмы CIRCUTOR, включенных в Государственный реестр средств измерений.

Инструментальные обследования проведены в соответствии с действовавшим в то время ГОСТом Р 53333–2008 [14] и Типовой программой [15]. Отмененный ГОСТ Р 53333–2008 не противоречит действующему в настоящее время ГОСТу 33073–2014 [16].

В ходе обследования в течение суточного интервала времени измерялись следующие показатели качества электрической энергии, нормируемые в [4]:

– положительное ($\delta U_{(+)}$) и отрицательное ($\delta U_{(-)}$) отклонения напряжения, %;

- коэффициент n -й гармонической составляющей напряжения ($K_{U(n)}$), %;
- суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения (K_U), %.

Измерялся также суммарный коэффициент гармонических составляющих тока (K_I , %), в настоящее время ненормируемый. Искажение формы кривой тока в электрических сетях негативно влияет на релейную защиту и автоматику силового оборудования, вызывая ложные и некорректные срабатывания, способствует ускорению процесса старения изоляции оборудования, увеличивает потери активной мощности и электрической энергии в линиях электропередачи [17]. Ниже представлены результаты измерения показателей качества электрической энергии в сетях 110 кВ энергосистем Сибири.

Сети 110 кВ энергосистемы Алтайского края – «Алтайэнерго». Результаты измерений показателей качества электрической энергии на шинах 110 кВ одиннадцати подстанций энергосистемы свидетельствуют о том, что значения показателей $\delta U_{(-)}$, $\delta U_{(+)}$, $K_{U(n)}$, K_U в большинстве случаев не превышают норм, установленных в [4] для значений на интервале 100 % времени измерений. Имеют место превышения норм на интервале 95 % времени измерений.

В табл. 1.9 представлены значения K_U на шинах 110 кВ тех подстанций «Алтайэнерго», где были превышены требования [4]. Величины K_U , превысившие нормы, выделены жирным шрифтом.

Т а б л и ц а 1.9

Показатели K_U на шинах 110 кВ подстанций «Алтайэнерго», %

Подстанция	Время измерений	Измеренные значения			Норма
		фаза А	фаза В	фаза С	
Арбузовская	95	2,3	2,3	2,3	2,0
	100	2,7	2,7	2,6	3,0
Благовещенская	95	6,0	5,7	5,8	2,0
	100	7,1	7,2	6,9	3,0
Кулундинская	95	6,4	5,8	5,9	2,0
	100	7,4	6,7	8,1	3,0
Алейская	95	2,2	2,3	2,1	2,0
	100	2,5	2,6	2,3	3,0

Значение $K_{U(9)}$ на шинах 110 кВ подстанций «Благовещенская» и «Кулундинская» достигает 0,69 % при допустимом 0,6 %. На ши-

нах 110 кВ подстанций «Майминская», «Михайловская», «Опорная», «Подгорная», «Смоленская», «Топчихинская», «Чергинская» превышений значений показателей $\delta U_{(-)}$, $\delta U_{(+)}$, $K_{U(n)}$, K_U не выявлено.

На питающих и отходящих линиях 110 кВ подстанций «Алтайэнерго» были зафиксированы высокие максимальные значения K_I [18]. Они представлены в табл. 1.10. Результаты измерений свидетельствуют о значительной дополнительной нагрузке обследованных линий 110 кВ «Алтайэнерго» токами гармонических составляющих.

Т а б л и ц а 1.10

Максимальные значения K_I , на питающих и отходящих линиях 110 кВ «Алтайэнерго», %

Наименование линии (обозначение)	K_I	Наименование линии (обозначение)	K_I
Арбузовская–Корчинская (АК–18)	60,0	Кулундинская–Славгородская (КС–116)	19,0
Арбузовская–Корчинская (АК–19)	83,0	Кулундинская– Благовещенская (КС–116)	40,0
Арбузовская–Павловская (АП–55)	12,5	Кулундинская– Благовещенская (КБ–118)	30,0
Арбузовская–Рогозихинская (АР–437)	17,0	Михайловская–Николаевская (МН–22)	50,0
Власиха–Арбузовская (ВА–112)	90,0	Михайловская–МЗХР (МХ–89)	14,0
Топчихинская–Алейская (ТА–51)	8,0	Михайловская–Бор–Форпост (БМ–99)	38,0
Топчихинская–Алейская (ТА–182)	5,5	Смоленская–Советская (СС–76)	4,0
Кулундинская–Благовещенская (КБ–117)	45,0	Смоленская–Советская (СС–77)	14,0
Кулундинская–Благовещенская (КБ–118)	40,0	Смоленская–Сосна (СС–107)	4,5
Благовещенская–Завьяловская (БЗ–124)	20,0	Смоленская–Сосна (СС–108)	4,5
Благовещенская–Леньковская (БЗ–123)	25,0	Смоленская–Петропавловская (СП–109)	13,0
Благовещенская–Родинская (БР–144)	16,5	Смоленская–Подгорная (СП–189)	3,0
Благовещенская–Верх-Суетская (БС–127)	25,0	Смоленская–Линевская (СЛ–191)	10,0

Топчихинская–Алейская (ТА–51)	4,0	Смоленская–Курортная (СК–168)	9,0
Топчихинская–Алейская (ТА–182)	3,2	Быстрая–Майминская (БМ–85)	5,1
Топчихинская–Приобская (ТП–28)	7,0	Майминская–Горноалтайская (МГ–1405)	2,5
Власиха–Топчихинская (ВТ–111)	7,0	Майминская–Сигнал (МС–164)	5,0
Подгорная–АЗА (ПА–171)	14,5	Отпайка–Майминская (ОМ–139)	1,8
ТЭЦ-3–Подгорная (ТП–45)	4,0	Манжерокская–Чергинская (МЧ–10)	8,5
ТЭЦ-3–Подгорная (ТП–46)	4,5	Предгорная–Чергинская (ПЧ–3)	4,5
Подгорная–Центральная (ТП–46)	6,8	Чергинская–Теньчинская (ЧТ–181)	6,2
Подгорная–Центральная (ПЦ–40)	7,5	Чергинская–Шебалинская (ЧШ–180)	18,0
Опорная–Подгорная (ОП–94)	65,0	Арбузовская–Корчинская (АК–19)	77,0
Опорная–Чесноковская (ОЧ–91)	16,0	Корчинская–Тюменцевская (АК–19)	62,0
Опорная–Чесноковская (ОЧ–92)	14,5	Корчинская–Светлая (СК–187)	40,0
Опорная–Подгорная (ОП–94)	15,0	Корчинская–Завьяловская (КЗ–194)	30,0
Опорная–ТЭЦ-2 (ТО–101)	38,0	Корчинская–Мамонтовская (КМ–110)	17,5
Кулундинская–Славгородская (КС–115)	85,0		

Сети 110 кВ энергосистемы Красноярского края – «Крас-энерго». Проведенные измерения показателей качества электрической энергии на шинах 110 кВ подстанций «Академгородок», «Бородинская», «Дзержинская», «Енисейская», «Новоселовская», «Опорная», «Парная», «Юго-Западная», переключательного пункта «Назаровский» свидетельствуют о том, что значения показателей $\delta U_{(-)}$, $\delta U_{(+)}$, $K_{U(n)}$, K_U здесь не превышают нормативных значений, установленных в [4]. Превышение $\delta U_{(-)}$ зафиксировано на подстанции «Богучаны». Значения $\delta U_{(-)}$ в фазах В и С превысили нормативное зна-

чение [4] и оказались равными 11 и 12 %. На шинах 110 кВ подстанции «Боготольский переключательный пункт» зафиксировано превышение показателем K_U норм [4].

Результаты измерений представлены в табл. 1.11. Значения показателей $\delta U_{(-)}$, $\delta U_{(+)}$, $K_{U(n)}$ соответствуют нормам.

Т а б л и ц а 1.11
Значения K_U на шинах 110 кВ подстанции
«Боготольский переключательный пункт», %

Время измерений	Измеренное значение			Норма
	фаза А	фаза В	фаза С	
95	2,4	3,1	3,4	2,0
100	3,6	3,9	4,1	3,0

В ходе измерений на питающих и отходящих линиях 110 кВ подстанций «Красэнерго» [18] были зафиксированы максимальные значения K_I , приведенные в табл. 1.12. Представленные в таблице значения свидетельствуют о незначительной дополнительной нагрузке обследованных линий 110 кВ «Красэнерго» токами гармонических составляющих.

Т а б л и ц а 1.12
Максимальные значения K_I , % на питающих и отходящих линиях 110 кВ
подстанций «Красэнерго», %

Наименование линии (обозначение)	K_I	Наименование линии (обозначение)	K_I
Назаровский ПП – Степная (С–36)	15,5	Дзержинская – Георгиевка (С–850)	15,0
Назаровский ПП – Водозабор (С–38)	7,8	Дзержинская – Георгиевка (С–826)	11,8
Назаровский ПП – Степная (С–39)	25,0	Дзержинская – Тасеево (С–829)	26,0
Назаровский ПП – Назарово (С–741)	3,0	Дзержинская – Тасеево (С–830)	26,0
Назаровский ПП – Назарово (С–742)	3,0	Бородинская – Камала (С–51)	8,0
Боготольский ПП – БСНН (С–27)	10,0	Бородинская – Камала (С–52)	9,0
Боготольский ПП – Каштак (С–29)	11,0	Бородинская – Красноярская ГРЭС2 (С–909)	4,1

Боготольский ПП – Тюхтет (С–734)	16,0	Бородинская – Красноярская ГРЭС2 (С–910)	4,5
Енисейская – Абалаковская (С–623)	2,3	Бородинская – Промбаза (С–917)	9,0
Енисейская – Городская (С–630)	2,1	Канская опорная – Шарбыш тяговая (С–55)	28,0
Енисейская – Енишево (С–638)	7,5	Канская опорная – Шарбыш тяговая (С–56)	11,0
Парная – Кия–Шалтырь (С–79)	14,5	Канская опорная – Камалаг (С–66)	5,6
Парная – Кия–Шалтырь (С–80)	11,5	Канская опорная – Камалаг (С–67)	5,3
Парная – Шарыпово (С–761)	10,0	Канская опорная – Георгиевка (С–813)	10,5
Парная – Шарыпово (С–762)	10,0	Канская опорная – Георгиевка (С–814)	12,2
Новоселово – Новый Огур (С–78)	13,0	Канская опорная – Канская восточная (С–815)	4,8
Новоселово – Толстый мыс (С–78)	12,0	Канская опорная – Канская восточная (С–816)	5,3
Новоселово – Новый Огур (С–775)	10,8	Канская опорная – Юго-Восточная (С–819)	4,4
Новоселово – Малый Имыш (С–776)	7,0	Канская опорная – Юго-Восточная (С–820)	3,0
Новоселово – Малый Имыш (С–777)	10,0	Канская опорная – Красноярская ГРЭС2 (Д–35)	2,4
Богучаны – Гремучий (С–850)	11,0	Канская опорная – Красноярская ГРЭС2 (Д–36)	2,5

Сети 110 кВ энергосистемы Кемеровской области – «Кузбассэнерго–РЭС». Результаты измерений показателей качества электрической энергии на шинах 110 кВ подстанций «Беловская», «Кондомская», «Кузнецкая», «КФЗ–2», «Мысковская», «Новоленинская», «Рудничная», «Ширпотреб», «Юргинская» свидетельствуют о том, что значения $\delta U_{(-)}$, $\delta U_{(+)}$, $K_{U(n)}$, K_U не превышают норм, установленных в [4]. В ходе измерений на питающих и отходящих линиях 110 кВ подстанций «Кузбассэнерго–РЭС» [18] были зафиксированы максимальные значения K_I , представленные в табл. 1.13. Наибольшее значение K_I получено на линии 110 кВ, питающей производственные нагрузки Новокузнецкого металлургического комбината.

**Максимальные значения K_I на питающих и отходящих линиях 110 кВ
подстанций «Кузбассэнерго-РЭС», %**

Наименование линии	K_I	Наименование линии	K_I
Кемеровская ГРЭС-1 – Рудничная	2,5	Мысковская – Курейнская-1	2,8
Кемеровская ГРЭС-2 – Рудничная	1,8	Мысковская – Курейнская-2	5,5
Рудничная – Спутник	3,3	БГРЭС-1 – Беловская	1,4
Рудничная – Крохалевская-1	4,1	БГРЭС-2 – Беловская	1,4
Рудничная – Крохалевская-2	4,0	Беловская – Новоленин-ская-1	6,1
Шахтер – Рудничная	20,0	Беловская – Новоленин-ская-2	6,0
КФЗ-1 – КФЗ-2	2,4	Беловская – Красноброд-ская-1	0,7
НКАЗ-1 – КФЗ-2	2,1	Беловская – Красноброд-ская-2	1,5
НКАЗ-2 – КФЗ-2	2,1	Беловская-1 – Новоленин-ская	9,5
Кузнецкая ТЭЦ-1 – КФЗ-2	21,0	Беловская-2 – Новоленин-ская	18,0
Кузнецкая ТЭЦ-2 – КФЗ-2	7,0	Беловская ГРЭС-1 – Ново-ленинская	3,3
Кузнецкая-2 – КФЗ-2	7,4	Беловская ГРЭС-2 – Ново-ленинская	3,5
КМК-1 – Ширпотреб	52,0	Краснополянская-1 – Ново-ленинская	13,0
КМК-2 – Ширпотреб	60,0	Краснополянская-2 – Ново-ленинская	15,0
Прокатка – Ширпотреб	2,1	Тяговая-1 – Новоленинская	2,7
Северная-1 – Ширпотреб	2,7	Тяговая-2 – Новоленинская	1,6
Северная-2 – Ширпотреб	4,4	Юрга 500-1 – Юргинская	4,5
ТЭЦ–КМК – Ширпотреб	2,0	Юрга 500-2 – Юргинская	4,6
Кузнецкая – КФЗ-1	3,0	Юрга 500-3Т – Юргинская	4,3
Кузнецкая – КФЗ-2	3,0	Юргинская – Яшкинская-1	10,5
Кузнецкая – ЗСМК-1	2,3	Юргинская – Яшкинская-2	9,0
Кузнецкая – ЗСМК-2	2,3	Юргинская – ТЭЦ ЮМЗ-1	4,9
Алгаин – Кондомская	1,9	Юргинская – ТЭЦ ЮМЗ-2	7,4
Калары – Кондомская	2,6	Юргинская – Юрга-2	4,0
Кондомская – Шерегеш-1	2,7	Юргинская – Абразивная-2	3,5

Кондомская – Шерегеш-2	1,2	Юргинская – Воинская	4,0
Кондомская – Таштагольская-2	1,3	Каштан – Тяжинская	18,3
ТУГРЕС-1 – Мысковская	2,6	Тяжинская – Мариинск	19,0
ТУГРЕС-2 – Мысковская	2,9	Тяжинская – Тисуль	15,0

Сети 110 кВ энергосистемы Омской области – «Омскэнерго». Из результатов измерений показателей качества электрической энергии на шинах 110 кВ подстанций «Саргатская», «Новокормиловская», «Тарская», «Центральная» следует, что значения показателей $\delta U_{(-)}$, $\delta U_{(+)}$, $K_{U(n)}$, K_U не превышают норм [4]. На шинах 110 кВ подстанции «Одесская» зафиксировано превышение показателя K_U . Результаты измерений представлены в табл. 1.14. Значения $K_{U(n)}$ находятся в пределах, установленных в [4].

Т а б л и ц а 1.14

Значения K_U на шинах 110 кВ подстанции «Одесская», %

Время измерений	Измеренное значение			Норма
	фаза А	фаза В	фаза С	
95	4,5	4,2	4,3	2,0
100	5,1	5,1	5,2	3,0

В ходе измерений на питающих и отходящих линиях 110 кВ подстанций «Омскэнерго» [13] были зафиксированы значения K_I , приведенные в табл. 1.15. Наибольшие значения K_I зафиксированы на линиях 110 кВ подстанций, являющихся центрами питания тяговой нагрузки.

Т а б л и ц а 1.15

Максимальные значения K_I на питающих и отходящих линиях 110 кВ подстанций «Омскэнерго», %

Наименование линии (обозначение)	K_I	Наименование линии (обозначение)	K_I
ТЭЦ-3–Съездовская (С–20)	8,5	Тарская–Екатерининская (С–77)	40,0
ТЭЦ0-3–Съездовская (С–19)	12,0	Новокормиловская–Густафьево (С–14)	10,0
Саргатская–Загородная (С–27)	14,0	Новокормиловская–Густафьево (С–13)	7,6

Саргатская–Загородная (С–28)	15,0	Новокормиловская–Победитель (С–58)	45,0
Саргатская–Баженово (С–70)	18,0	Новокормиловская–Калачинская (С–123)	31,0
Саргатская–Щербаки (С–71)	20,0	Новокормиловская–Калачинская (С–124)	9,0
Саргатская–Свердлово (С–72)	23,0	Одесская–Павлоградская (С–94)	40,0
Тарская–Телевизионная (С–73)	28,0	Одесская–Екатеринославская (С–96)	45,0
Тарская–Большие Кучки (С–75)	16,0	Одесская–Сосновская (С–98)	58,0
Тарская–Знаменка (С–76)	25,0		

Сети 110 кВ энергосистемы Забайкальского края – «Читаэнерго». Значения $\delta U_{(-)}$, $\delta U_{(+)}$, $K_{U(n)}$ на шинах 110 кВ подстанций не превышают норм [4]. Значения K_U , превышающие нормы, представлены в табл. 1.16.

Т а б л и ц а 1.16

Значения K_U на шинах 110 кВ подстанций «Читаэнерго», %

Подстанция	Время измерений	Измеренное значение			Норма
		фаза А	фаза В	фаза С	
Борзя–Восточная	95	5,2	5,4	4,4	2,0
	100	7,5	6,4	6,0	3,0
Заречная	95	3,1	3,4	2,7	2,0
	100	3,9	4,0	3,5	3,0
Каштак	95	3,0	3,6	3,2	2,0
	100	4,2	4,9	4,2	3,0
ОГОК	95	3,3	3,9	3,9	2,0
	100	4,7	5,5	5,9	3,0
Черновская	95	3,0	3,7	3,0	2,0
	100	3,8	5,1	3,7	3,0

В ходе измерений на питающих и отходящих линиях 110 кВ подстанций «Читаэнерго» зафиксированы максимальные значения K_I , приведенные в табл. 1.17. Наибольшее измеренное значение K_I составляет 30 %.

Т а б л и ц а 1.17

**Максимальные значения K_I на питающих и отходящих линиях 110 кВ
подстанций «Читаэнерго», %**

Наименование линии (обозначение)	K_I	Наименование линии (обозначение)	K_I
Каштак–Северная (05)	6,9	Черновская–Ингода (49)	29,0
Каштак–Северная (06)	12,0	ТЭЦ-1–Черновская (09)	29,0
ТЭЦ-1–Каштак (07)	6,5	Степь–Оловянная (62)	5,5
ТЭЦ-1–Каштак (08)	7,0	Турга–Первая (63)	8,0
Каштак–Третья (55)	8,8	Турга–Харанор (64)	4,5
ТЭЦ-1–АСЗ (01)	25,0	Турга–Харанор(65)	4,5
Дарасун–ОГОК (41)	7,0	Шерловогорская–Борзя– Восточная (33)	24,0
Дарасун–ОГОК (42)	8,0	Шерловогорская–Борзя– Восточная (34)	25,0
ОГОК–Степь (61)	6,0	Борзя–Восточная–Борзя– Западная (99)	8,0
ОГОК–Нижний Цасучей (88)	25,0	Борзя–Восточная–Харанор (33)	25,0
Черновская–Ингода (48)	30,0		

Сети 110 кВ энергосистемы Республики Бурятия – «Бурят-энерго». Измеренные значения показателей качества электрической энергии на шинах 110 кВ подстанций «Бурятэнерго», превышающие нормы [4], представлены в табл. 1.18. Значения показателей $\delta U_{(-)}$ и $K_{U(n)}$ на шинах 110 кВ находятся в пределах, установленных [4]. Максимальное значение K_I , зафиксированное на питающих и отходящих линиях 110 кВ подстанций «Бурятэнерго», составляет 45 %.

Т а б л и ц а 1.18

**Значения показателей качества электрической энергии на шинах 110 кВ
подстанций «Бурятэнерго», %**

Подстанция	Показатель	Время измерений	Измеренное значение			Норма
			фаза А	фаза В	фаза С	
Баянгол	$\delta U_{(+)}$	100	10,8	15,7	14,9	10,0
	K_U	95	6,6	9,9	10,2	2,0
		100	9,5	13,9	12,3	3,0

Кырен	K_U	95	6,8	4,7	4,1	2,0
		100	8,5	5,3	4,8	3,0
Мостовка	$\delta U_{(+)}$	100	9,3	10,5	11,7	10,0
	K_U	95	3,9	3,3	3,6	2,0
		100	4,7	4,0	4,7	3,0
Тимлюйская	$\delta U_{(+)}$	100	7,0	9,3	10,7	10,0
	K_U	95	3,8	3,2	3,4	2,0
		100	4,4	4,1	4,4	3,0
Турка	$\delta U_{(+)}$	100	10,8	12,4	13,6	10,0
	K_U	95	7,3	6,0	6,8	2,0
		100	10,1	8,4	10,2	3,0
Усть–Баргузин	$\delta U_{(+)}$	100	10,7	14,1	13,3	10,0
	K_U	95	5,6	8,2	8,9	2,0
		100	7,8	12,0	11,5	3,0
Багдарин	K_U	95	10,0	8,4	6,7	2,0
		100	15,0	13,1	11,4	3,0
Георгиевка	$\delta U_{(+)}$	100	10,8	13,4	10,8	10,0
	K_U	95	3,5	4,8	4,6	2,0
		100	4,8	7,2	6,1	3,0
Медведчиково	$\delta U_{(+)}$	100	11,5	12,7	12,5	10,0
	K_U	95	2,9	3,8	3,7	2,0
		100	4,7	4,6	4,9	3,0
Октябрьская	K_U	95	3,1	4,2	3,9	2,0
		100	3,7	6,5	5,2	3,0
Онохой	$\delta U_{(+)}$	100	8,7	11,2	9,1	10,0
	K_U	95	3,6	4,8	4,9	2,0
		100	4,5	5,9	6,4	3,0
Романовка	$\delta U_{(+)}$	100	11,1	12,3	10,3	10,0
	K_U	95	5,8	5,6	6,6	2,0
		100	9,2	7,2	8,7	3,0
Сосновоозерская	$\delta U_{(+)}$	100	10,4	11,4	10,2	10,0
	K_U	95	3,8	4,0	4,8	2,0
		100	6,8	5,9	6,7	3,0
Удинская	$\delta U_{(+)}$	100	10,7	12,7	11,1	10,0
	K_U	95	2,5	3,5	3,3	2,0
		100	3,1	4,3	3,8	3,0
Бичура	$\delta U_{(+)}$	100	8,7	10,3	9,9	10,0
	K_U	95	8,5	9,2	9,3	2,0
		100	9,2	10,0	10,5	3,0
Гусиноозерская	K_U	95	2,0	3,1	2,9	2,0
		100	3,4	3,7	3,9	3,0

Джида	K_U	95	4,9	5,5	5,4	2,0
		100	6,0	6,5	6,5	3,0
Окино–Ключи	K_U	95	5,6	8,7	6,8	2,0
		100	7,8	10,8	9,2	3,0
Хоронхой	K_U	95	6,0	6,8	6,5	2,0
		100	6,9	8,0	7,4	3,0

Расчет добавочных потерь активной мощности в линии, вызванных гармоническими составляющими напряжений и токов. Измеренные в ходе выполненных обследований показатели качества электрической энергии и коэффициенты гармонических составляющих тока K_U , позволяющие с помощью программы [19], разработанной сотрудниками Томского политехнического университета, произвести расчет добавочных потерь активной мощности и энергии, вызванных несинусоидальными токами, в линиях электропередачи.

Потери активной мощности в многопроводной линии определяются по формуле

$$P = \sum_{i=1}^m \sum_{n=10}^{40} \int_0^l I_{in}^2(x) r_{0li} \sqrt{n} dx, \quad (1.1)$$

где $I_{in}(x)$ – действующее значение тока n -й гармоники в i -м проводе на расстоянии x от точки измерений; r_{0li} – погонное сопротивление i -го провода на основной частоте; $\sqrt{n}$ – коэффициент, учитывающий увеличение активного сопротивления провода вследствие поверхностного эффекта.

Потери от протекания тока первой гармоники являются основными потерями и определяются выражением

$$P_1 = \sum_{i=1}^m \int_0^l I_{i1}^2(x) r_{0li} dx. \quad (1.2)$$

Добавочные потери, обусловленные протеканием токов гармонических составляющих, определяются выражением

$$P_{доб} = \sum_{i=1}^m \sum_{n=2}^N I_{i,n}^2(x) r_{0li} \sqrt{n} dx. \quad (1.3)$$

Величина добавочных потерь в линии определяется такими факторами, как гармонический состав и величины токов гармоник, их распределение вдоль трассы линии, сопротивления проводов и

тросов. Для выяснения возможных значений добавочных потерь, их соотношения с потерями от основной гармоник тока необходимы соответствующие расчеты. В качестве примера такие расчеты проведены для линии ОКК-120, соединяющей подстанции «Окино–Ключи» и «Кяхта» «Бурятэнерго» длиной 63,7 км, выполненной проводом АС–120/19 на опорах типа П110–5 со стальным тросом марки С50 [20].

По (1.2) и (1.3) рассчитываются потери активной мощности в линии в течение суток. Представление о величине потерь на основной частоте и частотах гармонических составляющих дает график на рис. 1.8.

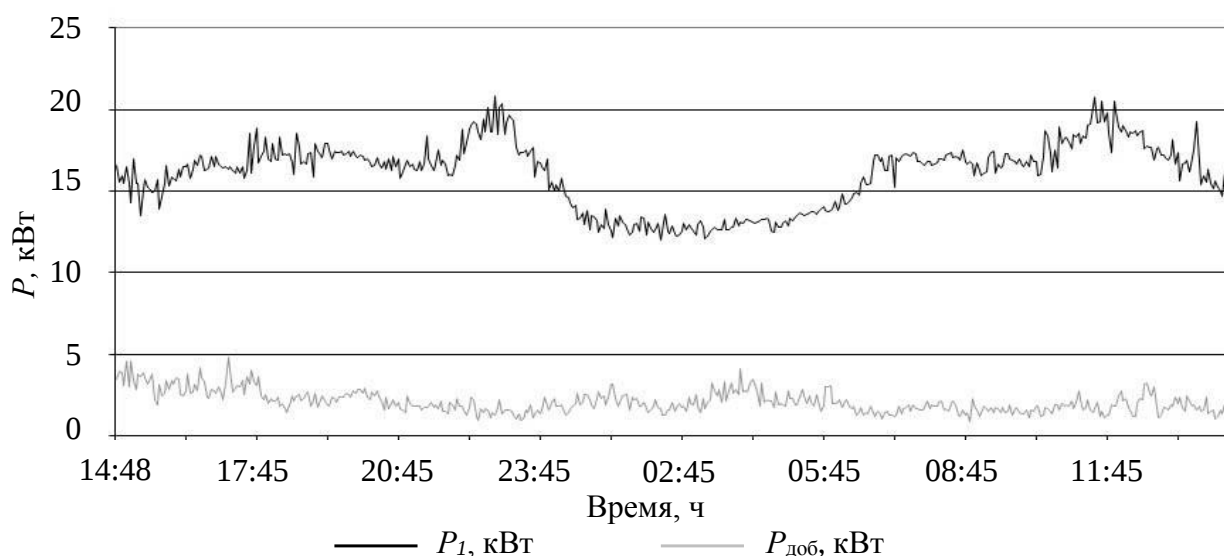


Рис. 1.8. Суточные графики изменений основных и добавочных потерь в линии ОКК-120.

Из рисунка видно, что в отдельные моменты времени величина мощности добавочных потерь может составлять 30 % от величины основных потерь.

Проведенные расчеты потерь активной энергии в линии на суточном интервале показывают, что основные и добавочные потери составляют 378,2 и 49,7 кВт·ч соответственно. Уровень добавочных потерь электроэнергии составил 13,1 % от основных потерь энергии.

Анализ измеренных значений показателей качества электрической энергии $\delta U_{(-)}$, $\delta U_{(+)}$, K_U , $K_{U(n)}$ в узлах сетей 110 кВ энергосистем «МРСК Сибири» показал, что значение показателя K_U изменяется в широком диапазоне. В большинстве случаев величины K_U значи-

тельно превышают нормы, установленные в [4]. Измеренные значения K_I на питающих и отходящих линиях электропередачи 110 кВ свидетельствуют о том, что большое количество присоединений (более 30 %) работает с повышенными и высокими значениями суммарных коэффициентов гармонических составляющих токов, вследствие чего в элементах электрической сети возникают добавочные потери. Снижение добавочных потерь в электрических сетях и повышение качества напряжения в настоящее время возможно, но для этого необходимо принятие документов, регламентирующих инъекции токов гармонических составляющих потребителями на границах раздела балансовой принадлежности источников питания и потребителей.

1.4. Эмиссия гармоник тока бытовыми электроприборами

Непрерывный рост доли нелинейных электроприемников в суммарном бытовом электропотреблении является неизбежным эффектом массового внедрения энергоэффективного оборудования. Силовые преобразователи, (например, частотно-регулируемый электропривод и импульсные источники питания) обеспечивают значительный уровень энергосбережения по сравнению с традиционными решениями, но в то же время ухудшают качество электрической энергии (в частности вызывают появление гармоник в кривой напряжения питания). Простейшие бытовые нелинейные электроприемники потребляют из сети ток короткими импульсами, что обуславливается непродолжительными интервалами зарядки конденсатора мостового выпрямителя в моменты максимума синусоиды напряжения питания [21]. Падение напряжения на сопротивлении сети при протекании по нему гармоник тока вызывает искажение кривой напряжения питания. В результате форма напряжения в современных бытовых электрических сетях с нелинейными нагрузками отличается от идеальной синусоиды и имеет плоскую сдвинутую вбок вершину [22].

В свою очередь, несинусоидальное напряжение может серьезно влиять на уровень эмиссии гармоник тока нелинейных электроприемников. В частности, маломощные нелинейные электроприемники, такие как компактные люминесцентные лампы, светодиодные лампы, зарядные устройства, характеризующиеся простейшими топологиями электрических схем и повышенными уровнями эмиссии гар-

моник тока, обычно снижают степень искажения при питании несинусоидальным напряжением с плоской вершиной [23]. В то же время более совершенные электроприемники, содержащие схемы активной коррекции коэффициента мощности, к которым относятся импульсные источники питания персональных компьютеров, мощные электроприемники освещения, характеризующиеся низким содержанием гармоник в потребляемом токе, увеличивают несинусоидальность тока при питании искаженным напряжением [24]. Таким образом, реакция электроприемников на несинусоидальность напряжения определяется как топологией его электрической схемы, так и параметрами искаженной кривой напряжения.

Данный раздел содержит анализ влияния несинусоидальности напряжения питания на уровни эмиссии гармоник тока бытовых нелинейных электроприемников. Дается краткая классификация электроприемников по типам источников нелинейности, описываются разработанные модели эмиссии ими гармоник тока, приводятся параметры искаженного напряжения бытовых электрических сетей, используемые для анализа несинусоидальности тока разработанных моделей и выявления характера изменения эмиссии гармоник тока бытовых электроприемников.

Классификация электроприемников по типу источника нелинейности. Бытовые электроприемники по типу содержащихся в них источников нелинейности можно разделить на современные электронные и традиционные.

В группу современных электронных электроприемников входят электроприемники бытовой электроники и освещения, построенные на основе импульсных источников питания и содержащие мостовые выпрямители для преобразования сетевого переменного напряжения в постоянное [25]. Подобные схемы характеризуются непродолжительным интервалом протекания тока питания в течение периода сетевого напряжения, что вызывает появление импульсов тока и повышенной эмиссии гармоник тока и ограничивает их применение маломощными электроприемниками. В связи с этим [26] устанавливает «облегченные» нормы для электроприемников освещения мощностью менее 25 Вт, относящихся к классу С, и не нормирует эмиссию гармоник тока электроприемников бытовой электроники мощностью менее 75 Вт, относящихся к классу D. Увеличение потребляемой мощности вызывает необходимость улучшения состава гармоник тока электроприемников с выпрямителями, что

достигается за счет применения схем пассивной и активной коррекции коэффициента мощности. Пассивная коррекция коэффициента мощности предполагает снижение искажений тока за счет использования дополнительных пассивных элементов (индуктивностей, емкостей, диодов), что наравне с полезным эффектом означает увеличение массогабаритных показателей и потерь. Поэтому пассивная коррекция коэффициента мощности обычно применяется в электроприборах освещения мощностью более 25 Вт и в оборудовании бытовой электроники мощностью более 75 Вт с низкими требованиями по энергоэффективности. С увеличением мощности электроприемников параметры энергоэффективности становятся определяющими, что обуславливает использование методов активной коррекции коэффициента мощности, обеспечивающих снижение потерь за счет работы активных элементов (транзисторов) преобразователей, которые формируют синусоидальную кривую тока под действием сигналов системы управления.

В группу традиционных входят электроприемники, содержащие регулируемые электроприводы (кондиционеры, холодильники, пылесосы), а также низкочастотные трансформаторы, СВЧ-печи и дроссели значительной индуктивности (люминесцентные лампы с электромагнитной пускорегулирующей аппаратурой). Трансформаторы и дроссели могут входить в режим насыщения, приобретая нелинейные свойства и генерируя токи гармоник. Помимо аналогичных эффектов насыщения магнитной системы универсальные коллекторные двигатели в случае симисторного регулирования потребляют искаженный импульсный ток [27], а однофазные асинхронные двигатели с рабочим конденсатором характеризуются возможными резонансными явлениями на различных частотах [28]. В соответствии с [26] данные электроприемники относятся к классу А, за исключением ламп с электромагнитной пускорегулирующей аппаратурой. Для этого класса нормы эмиссии гармоник тока устанавливаются в абсолютных единицах, поскольку за счет значительной потребляемой мощности электроприемники генерируют в сеть существенные уровни гармоник даже при сравнительно небольшой степени искажений кривой тока.

Рассмотрим характерные электроприемники обеих групп, а также соответствующие им модели эмиссии гармоник тока более подробно. Использование компьютерных моделей эмиссии гармоник тока значительно упрощает анализ изменения уровней несинусои-

дальности тока, потребляемого бытовыми электроприемниками под действием внешних факторов. Моделирование позволяет исследовать как отдельные электроприемники, так и их совокупности в произвольных условиях [29], обеспечивая в итоге возможность расчета несинусоидального режима бытовой электрической сети. Далее приводится краткое описание моделей нелинейных бытовых электроприемников, учитывающих источники несинусоидальности.

Современные электронные электроприемники. К ним относится компактная люминесцентная лампа без схемы коррекции коэффициента мощности. Схема лампы представлена на рис. 1.9а.

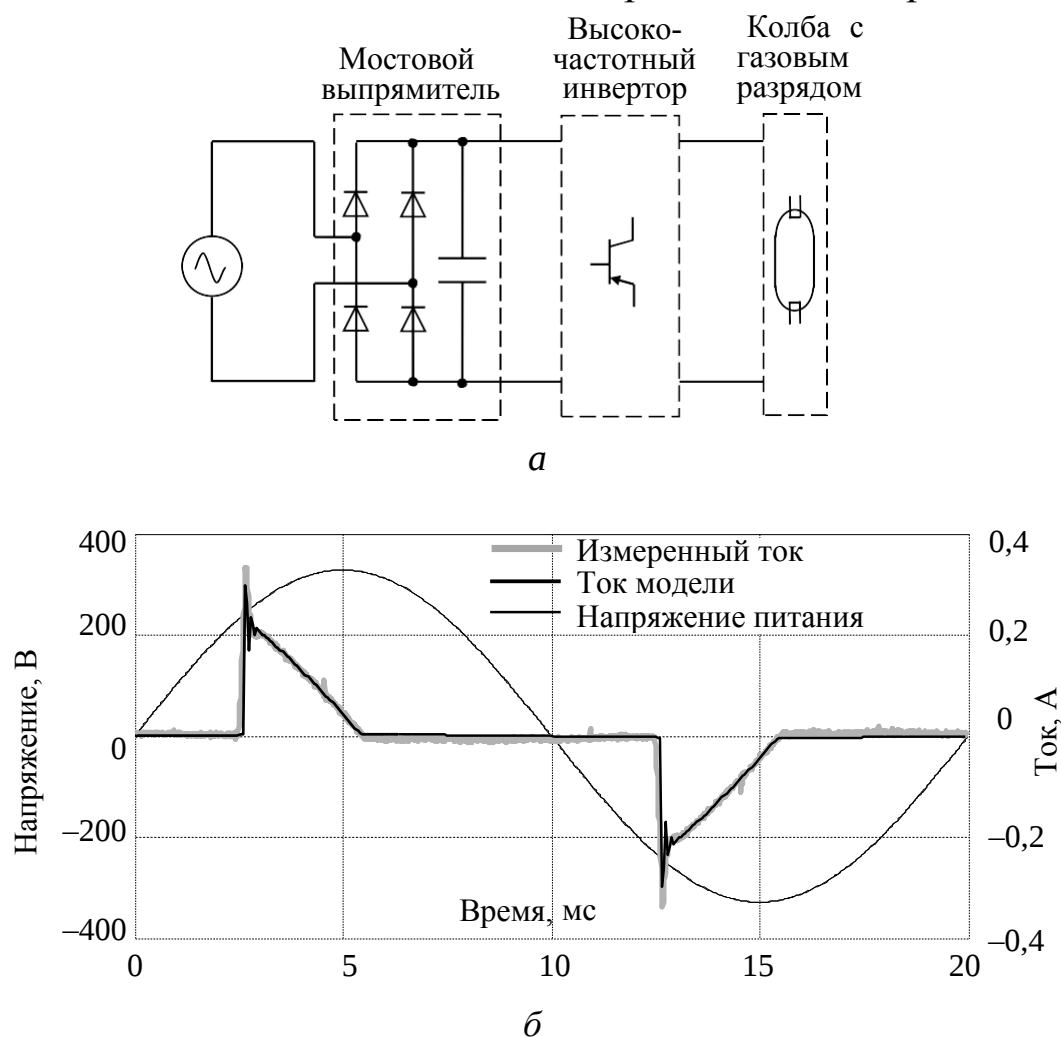


Рис. 1.9. Упрощенная схема компактной люминесцентной лампы без схемы коррекции коэффициента мощности (а); напряжение питания и токи лампы мощностью 11 Вт (б).

Структура маломощной компактной люминесцентной лампы без схемы коррекции коэффициента мощности лампы включает мостовой выпрямитель со сглаживающим конденсатором, высокочастотный инвертор и колбу, в которой происходит дуговой разряд в

газовом промежутке [30]. При питании высокочастотным напряжением вольт-амперная характеристика дугового разряда является линейной и сама лампа обладает свойствами активного сопротивления [31]. Источником нелинейности в лампе является входной каскад в характерном для него импульсном режиме протекания тока. Это позволяет при моделировании эмиссии гармоник тока лампы [32] учитывать только мостовой выпрямитель и сглаживающий конденсатор, питающие активную нагрузку. Сравнение тока лампы, представленного линией серого цвета на рис. 1.9б, с током, полученным в результате моделирования, представленным линией черного цвета, подтверждает хорошее соответствие тока модели току реальной лампы. Ток имеет импульсную форму с продолжительными нулевыми интервалами, что выражается в высоком уровне гармоник.

В группу современных электронных электроприемников входит светодиодная лампа со схемой пассивной коррекции коэффициента мощности. Схема лампы представлена на рис. 1.10а [33].

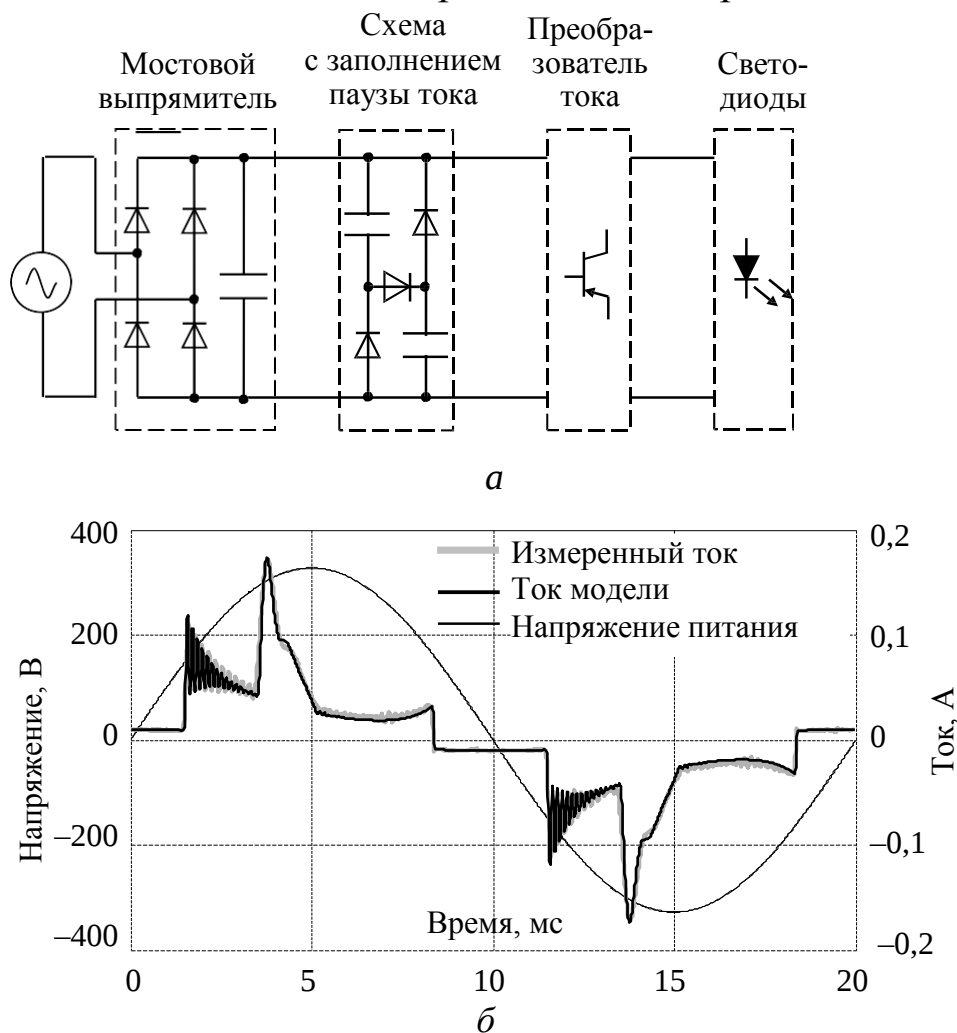


Рис. 1.10. Светодиодная лампа со схемой пассивной коррекции коэффициента мощности (а); напряжение питания и токи лампы мощностью 10 Вт (б).

При питании лампы применяется так называемая схема «с заполнением паузы тока». Аналогично предыдущему примеру в качестве входного каскада используется мостовой выпрямитель со сглаживающим конденсатором, однако в данном случае обеспечивается более длительный интервал протекания тока за счет использования дополнительной схемы пассивной коррекции коэффициента мощности. Модель светодиодной лампы со схемой питания «с заполнением паузы тока», построенная на основе описанной структуры [24], достаточно точно воспроизводит величины несинусоидального тока реальной лампы, о чем свидетельствует сравнение экспериментально измеренного тока и моделируемого на рис. 1.10б.

Импульсный источник питания персонального компьютера со схемой активной коррекции коэффициента мощности мощностью 500 Вт также относится к современным электронным электроприемникам. Его упрощенная схема представлена на рис. 1.11а. Увеличение номинальной мощности импульсного источника питания вызывает необходимость использования схем активной коррекции коэффициента мощности в целях снижения величин гармоник тока и их соответствия нормам [26]. Достижимый при этом положительный эффект обеспечивается только при уровне нагрузки близком к номинальному, в то время как чаще всего нагрузка импульсного источника питания персонального компьютера составляет около 15–20 % от его номинальной мощности [34]. В режиме малой нагрузки работа схемы активной коррекции коэффициента мощности сопровождается появлением искажений тока, связанных с переходом схемы в режим прерывистых токов, когда система управления не может обеспечить необходимую степень синусоидальности тока питания. Учет этого эффекта в разработанной модели эмиссии импульсного источника питания [24] позволяет обеспечить хороший уровень воспроизведения реальных искажений тока. На рис. 1.11б приведены кривые измеренного тока и модели при нагрузке импульсного источника питания равной, 75 Вт.

Традиционные бытовые электроприемники. К этой группе электроприемников относится люминесцентная лампа с электромагнитной пускорегулирующей аппаратурой. Упрощенная схема лампы приведена на рис. 1.12а.

Подобные лампы до сих пор широко распространены, несмотря на пониженные показатели эффективности и сокращенный срок

службы в сравнении с более современными лампами с электронным балластом [30].

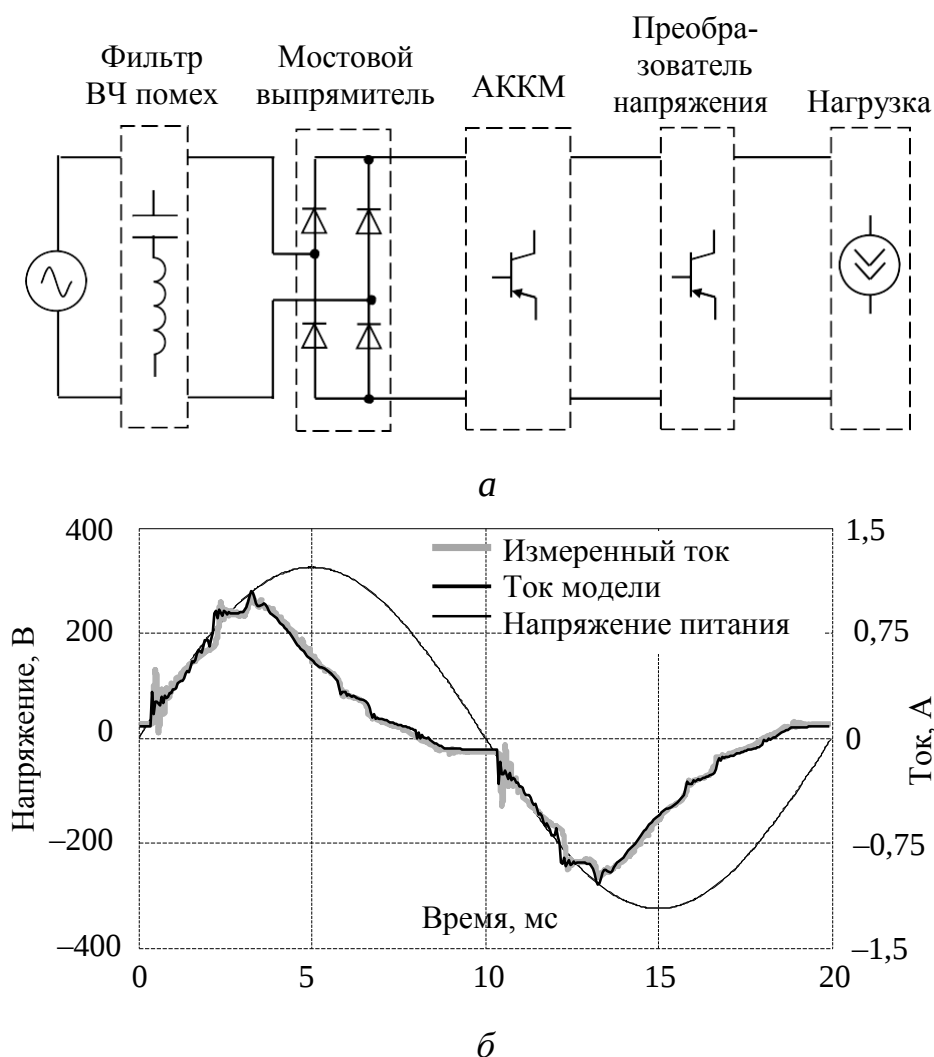


Рис. 1.11. Упрощенная схема импульсного источника питания персонального компьютера со схемой пассивной коррекции коэффициента мощности (а); напряжение питания и токи импульсного источника питания под нагрузкой 75 Вт (б).

Основными источниками нелинейности в люминесцентной лампе с электромагнитной пускорегулирующей аппаратурой являются низкочастотный дуговой разряд [35], а также потенциальные резонансные эффекты между токоограничивающим дросселем и компенсирующим конденсатором.

Моделирование данных нелинейностей осуществляется посредством составления системы уравнений дугового разряда [29], в результате чего форма тока полученной модели достаточно точно повторяет измеренный ток лампы [36], приведенный на рис. 1.12б.

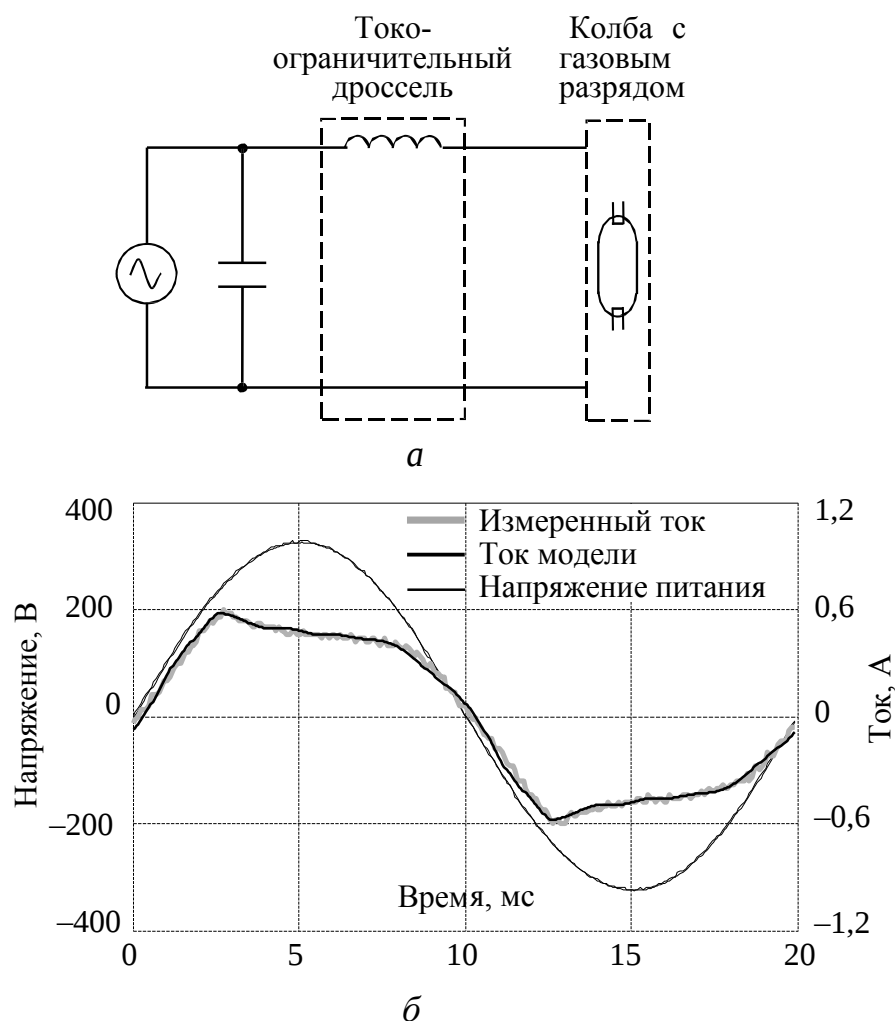


Рис. 1.12. Упрощенная схема люминесцентной лампы с электромагнитной пускорегулирующей аппаратурой (а); напряжение питания и токи лампы мощностью 4х18 Вт (б).

В группу традиционных бытовых электроприемников входит и СВЧ-печь, которая является распространенным нагревательным электроприемником – источником гармоник тока.

Упрощенная электрическая схема СВЧ-печи приведена на рис. 1.13а. Входящий в ее состав высоковольтный трансформатор, питающий магнетрон [36], работает в режиме насыщения, который характеризуется нелинейной петлей гистерезиса [37].

Моделирование эмиссии гармоник тока СВЧ-печи заключается в получении достоверной модели нелинейности трансформатора, позволяющей точно воспроизводить величины гармоник тока реального электроприбора, приведенного на рис. 1.13б.

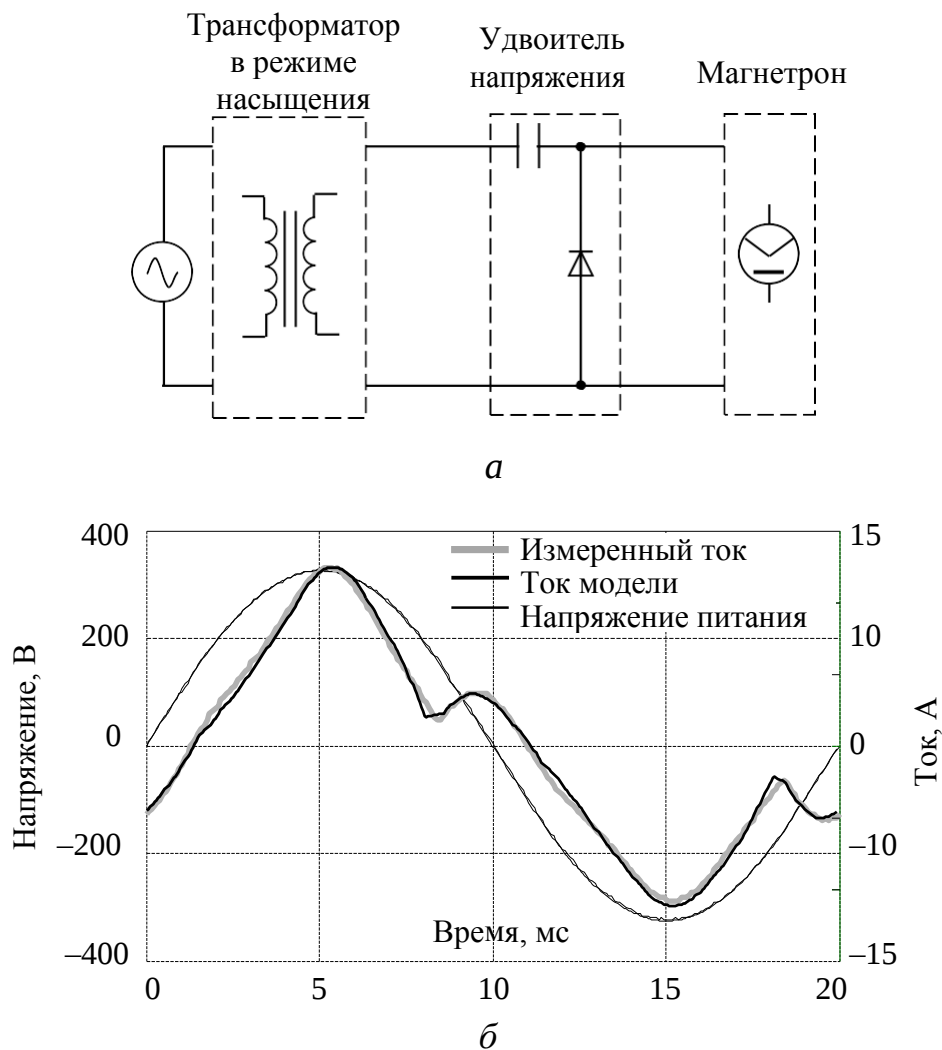


Рис. 1.13. Упрощенная схема СВЧ-печи (а); напряжение питания и токи СВЧ-печи мощностью 800 Вт (б).

Типичные параметры формы кривой напряжения бытовой электрической сети. Нормы эмиссии гармоник тока бытовых электроприемников определены в [26] для случая питания синусоидальным напряжением, которое в общем случае не соответствует условиям функционирования в бытовых электрических сетях. На практике электроприемники подключаются к несинусоидальному напряжению, которое оказывает существенное влияние на уровень гармоник тока. В то же время, характеристика уровней несинусоидальности напряжения с помощью амплитуд и фазовых углов отдельных гармоник из-за их комплексного суммарного влияния на результирующую кривую не позволяет обеспечить простое и понятное отображение формы искажений.

Более наглядным является использование для количественной характеристики степени несинусоидальности напряжения таких параметров, как крест-фактор, коэффициент несимметрии кривой напряжения. Например, в [22, 38] проводится анализ изменения уровней эмиссии нелинейных электроприемников для различных значений крест-фактора напряжения, в [23] – для кривых напряжения с различной степенью несимметрии «верхушки». На рис. 1.14 представлена форма искаженной кривой напряжения с плоской вершиной, а для сравнения также синусоидальная кривая.

Параметры для характеристики искажений формы кривой напряжения [24]:

– крест-фактор кривой напряжения:

$$CF_V = V_{pk} / V_{RMS}; \quad (1.4)$$

– коэффициент несимметрии кривой напряжения:

$$SF_V = t_r / t_f; \quad (1.5)$$

– пиковое значение кривой напряжения:

$$V^*_{pk} = V_{pk} / (\sqrt{2} \cdot 220), \quad (1.6)$$

где V_{pk} и V_{RMS} – максимальное и среднеквадратичное значения напряжения; t_r и t_f – интервалы, соответствующие времени подъема и спуска кривой напряжения относительно максимального значения; V_{pk} и V^*_{pk} – максимальные значения напряжения в абсолютных и относительных единицах.

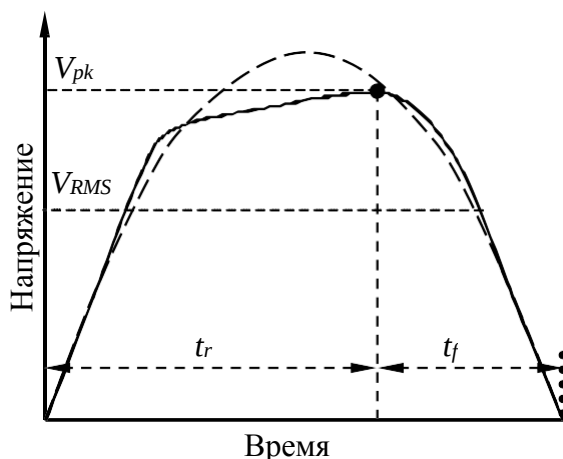


Рис. 1.14. Параметры формы кривой напряжения.

Согласно (1.5), величина $SF_V = 1$ характеризует симметричную кривую, в то время как величины $SF_V < 1$ или $SF_V > 1$ определяют левый и правый наклон кривой соответственно. Крест-фактор $CF_V < 1,41$ ха-

рактирует плоскую вершину синусоиды напряжения, величина $CF_V > 1,41$ соответствует пиковой форме кривой.

Анализ несинусоидальности кривой напряжения в бытовых электрических сетях низкого напряжения, измеренных в точках общего присоединения различных бытовых потребителей в течение одной недели [24], позволил выявить наиболее типичные величины параметров формы кривой напряжения. Как правило, значения CF_V лежат в интервале [1,36; 1,44], SF_V – в интервале [1; 1,5], V_{pk}^* – в интервале [0,9; 1], что соответствует кривой с плоской вершиной, сдвинутой вправо, с уменьшенной амплитудой.

Анализ влияния несинусоидальности напряжения на уровень эмиссии гармоник тока бытовых электроприемников. Исследование влияния типичных значений параметров несинусоидальности формы кривой напряжения на эмиссию гармоник тока бытовых нелинейных электроприемников состоял в анализе изменения величин гармоник тока электроприемников. Были получены наиболее вероятные уровни эмиссии гармоник тока различных электроприемников в условиях типичных искажений напряжения. При исследованиях были использованы представленные выше модели бытовых нелинейных электроприемников: компактной люминесцентной лампы без коррекции коэффициента мощности номинальной мощностью 11 Вт, светодиодной лампы без схемы коррекции коэффициента мощности номинальной мощностью 3 Вт, компактной люминесцентной лампы с активной коррекцией коэффициента мощности номинальной мощностью 30 Вт, импульсного источника питания персонального компьютера с пассивной коррекцией коэффициента мощности номинальной мощностью 450 Вт под нагрузкой 75 Вт, импульсного источника питания монитора без коррекции коэффициента мощности номинальной мощностью 30 Вт [30], светодиодной лампы со схемой «с заполнением паузы тока» номинальной мощностью 10 Вт, импульсного источника питания персонального компьютера с активной коррекцией коэффициента мощности номинальной мощностью 500 Вт под нагрузкой 75 Вт [24], пылесоса с универсальным коллекторным двигателем мощностью 500 Вт, СВЧ-печи мощностью 800 Вт, люминесцентной лампы с электромагнитной пускорегулирующей аппаратурой мощностью 4x18 Вт [34]. На рис. 1.15 для некоторых перечисленных электроприемников представлены зависимости суммарного коэффициента гармоник тока (K_I) от CF_V для трех значений SF_V , равных 1; 1,3 и 1,5. Зависимости при-

ведены для компактной люминесцентной лампы без коррекции коэффициента мощности (а); люминесцентной лампы с электромагнитной пускорегулирующей аппаратурой (б); импульсного источника питания персонального компьютера с пассивной коррекцией коэффициента мощности (в); импульсного источника питания монитора без коррекции коэффициента мощности (г); светодиодной лампы без схемы коррекции коэффициента мощности (д); импульсного источника питания персонального компьютера с активной коррекцией коэффициента мощности (е).

Уровень гармоник тока электроприемников при питании синусоидальным напряжением на рис. 1.15 отмечен звездочкой. Величина K_I определяется выражением

$$K_I = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{40} I_h^2}}{I_1},$$

где I_1 и I_h – действующие значения токов основной частоты и частот гармоник порядка больше первого.

Учитывая, что для всех тестовых кривых напряжения суммарный коэффициент гармоник напряжения [4] не превышал 4,5 %, можно считать рассматриваемые уровни несинусоидальности напряжения и соответствующие им эмиссии гармоник тока электроприемников типичными для бытовых электрических сетей.

Компактная люминесцентная лампа без схемы коррекции коэффициента мощности номинальной мощностью 11 Вт уменьшает эмиссию гармоник тока при увеличении несимметрии формы кривой напряжения, что следует из рис. 1.15а. В то же время она практически нечувствительна к изменению крест-фактора напряжения.

Противоположную реакцию на несинусоидальность кривой напряжения имеет люминесцентная лампа с электромагнитной пускорегулирующей аппаратурой мощностью 4х18 Вт, что следует из рис. 1.15б. При синусоидальном напряжении лампа имеет минимальный уровень несинусоидальности тока. При питании напряжением с несимметричной и плоской формой кривой несинусоидальность тока лампы увеличивается.

Аналогичные характеристики имеет ток светодиодной лампы со схемой «с заполнением паузы тока» мощностью 10 Вт, величина K_I которой увеличивается при питании плоским или пиковым напряжением.

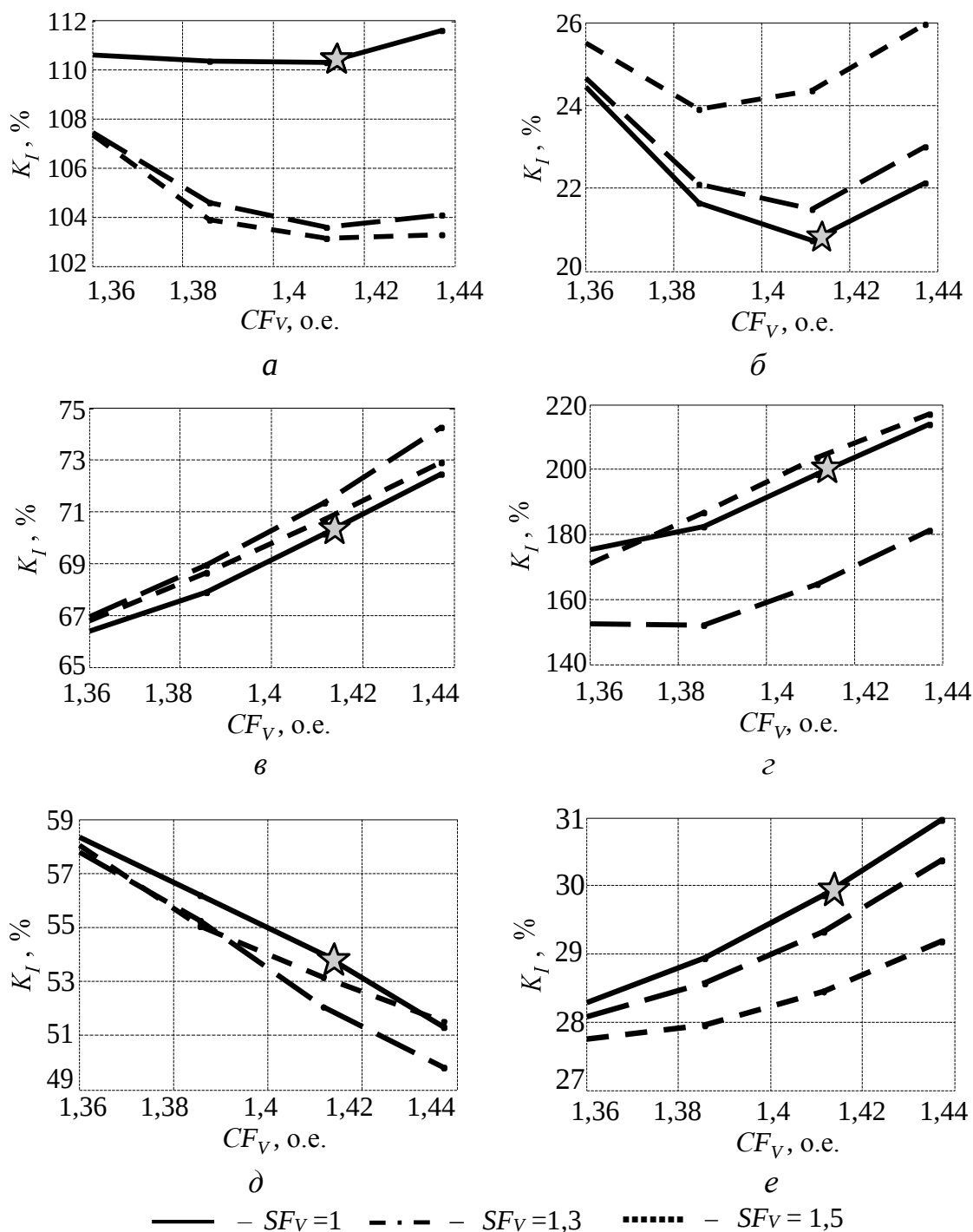


Рис. 1.15. Зависимости эмиссии гармоник тока от параметров формы кривой напряжения при $SF_V = 1$, $SF_V = 1,3$; $SF_V = 1,5$.

Электроприборы, имеющие в своем составе значительную индуктивность, обусловленную схемой пассивной коррекции коэффициента мощности, наличием электродвигательной нагрузки или низкочастотного трансформатора, обладают наиболее распространенным характером изменения эмиссии гармоник тока.

В электроприемниках подобного рода уровни гармоник тока пропорциональны крест-фактору напряжения. Несинусоидальность их тока снижается при «уплощении» кривой напряжения, т.е. при $CF_V < 1,41$, и увеличивается при увеличении «пиковости» кривой напряжения, т.е. при $CF_V > 1,41$. Например, импульсный источник питания персонального компьютера со схемой пассивной коррекцией коэффициента мощности номинальной мощностью 450 Вт (рис. 1.15в) имеет пониженный K_I при $CF_V < 1,41$, незначительно меняя уровень эмиссии гармоник тока при увеличении несимметрии кривой напряжения, т.е. при $SF_V > 1$. Аналогичным образом изменяется эмиссия гармоник тока пылесоса с универсальным коллекторным двигателем с симисторным управлением и СВЧ-печи.

Максимальную чувствительность к увеличению несимметрии формы кривой напряжения показывает импульсный источник питания монитора мощностью 30 Вт, что следует из рис. 1.15г, снижающий более чем на четверть K_I в случае питания несимметричным напряжением с $SF_V = 1,3$.

Светодиодная лампа без схемы коррекции коэффициента мощности номинальной мощностью 3 Вт аналогично упомянутым выше электроприемникам практически не меняет уровень эмиссии гармоник тока с увеличением несимметрии кривой напряжения, что следует из рис. 1.15д, но в то же время отличается от них снижением K_I при увеличении крест-фактора напряжения, т.е. при $CF_V > 1,41$.

Электроприборы с активной коррекцией коэффициента мощности (импульсный источник питания компьютера со схемой активной коррекции коэффициента мощности мощностью 500 Вт и компактная люминесцентная лампа со схемой активной коррекции коэффициента мощности мощностью 30 Вт) характеризуются незначительным снижением K_I при уменьшении крест-фактора напряжения, т.е. при $CF_V < 1,41$, и низкой чувствительностью к эмиссии гармоник тока при увеличении несимметрии кривой напряжения питания. Для импульсного источника питания компьютера зависимости приведены на рис. 1.15е.

Представленные на рис. 1.15 графики показывают, что в зависимости от формы кривой искаженное напряжение может приводить как к снижению эмиссии гармоник тока бытовыми электроприемниками, так и к ее увеличению. При этом уровень несинусоидальности тока может существенно отличаться от нормируемого уровня при питании синусоидальным напряжением [26]. В общем случае можно

выделить три типа реакции на питание несинусоидальным напряжением:

- снижение эмиссии гармоник тока при питании несинусоидальным напряжением независимо от формы искаженной кривой;
- увеличение эмиссии гармоник тока при питании несинусоидальным напряжением независимо от формы искаженной кривой;
- изменение уровней гармоник прямо пропорционально крест-фактору напряжения для бытовых электроприемников, имеющих в составе значительную индуктивность.

Проведенный краткий обзор моделей нелинейных бытовых электроприемников показал, что помимо известного своими искажающими свойствами электронного оборудования бытовой электроники, значительные уровни эмиссии гармоник тока могут создаваться традиционными электроприемниками, имеющими в составе значительную индуктивность. Для упрощения анализа эмиссии гармоник тока нелинейных электроприемников в условиях бытовой электрической сети с типичными уровнями суммарного коэффициента гармоник напряжения был предложен метод описания несинусоидальности напряжения с помощью параметров формы кривой, который обеспечивает простое и понятное представление искажений без необходимости комплексного учета амплитуд и фазовых углов гармоник напряжения.

В результате проведенных исследований изменения уровней эмиссии гармоник тока современных бытовых электроприемников в зависимости от степени несинусоидальности напряжения выявлено существенное влияние крест-фактора напряжения на степень искажения тока. В то же время несимметрия кривой напряжения практически не влияет на гармонический состав тока электроприемников. Такие электроприборы, как люминесцентные лампы с электромагнитной пускорегулирующей аппаратурой, а также асинхронные двигатели с конденсаторным пуском, характеризующиеся потенциальными резонансными эффектами в области низких частот, существенно увеличивают уровни искажений тока при питании несинусоидальным напряжением независимо от меняющихся параметров его формы. Полученные результаты должны быть учтены при разработке норм испытаний на уровни эмиссии гармоник тока бытовых электроприборов.

ГЛАВА 2. АНАЛИЗ ЗАКОНОДАТЕЛЬНО-ПРАВОВЫХ И НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ДОКУМЕНТОВ, РЕГЛАМЕНТИРУЮЩИХ КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

2.1. Правовые основы и проблемы привлечения к ответственности лиц, допустивших нарушение установленных требований к качеству поставляемой потребителям энергии

В соответствии с п. 1 ст. 542 Гражданского кодекса РФ [1] качество подаваемой энергии должно соответствовать требованиям, установленным государственными стандартами и иными обязательными правилами или предусмотренным договором энергоснабжения. Таким образом, на коммерческие организации, которые принимают на себя обязательство подавать потребителям энергию, возлагается публичная обязанность по соблюдению установленных государственными стандартами требований к качеству электрической энергии.

Обязательства возникают из договоров и других сделок, вследствие причинения вреда, неосновательного обогащения, а также по иным причинам, указанным в ст. 307 ГК РФ. Согласно ст. 309 ГК РФ, обязательства должны исполняться надлежащим образом в соответствии с условиями обязательства и требованиями закона либо других правовых актов.

Применительно к электрической энергии в ч. 1 ст. 38 Федерального закона от 26.03.2003 г. № 35–ФЗ «Об электроэнергетике» установлено, что субъекты электроэнергетики, обеспечивающие поставки электрической энергии потребителям (абонентам), в том числе энергосбытовые организации, гарантирующие поставщики и территориальные сетевые организации (в пределах своей ответственности), отвечают перед потребителями электрической энергии за надежность обеспечения их электрической энергией и ее качество в соответствии с требованиями технических регламентов и иными

обязательными требованиями.

В п. 7 Постановления Правительства РФ от 04.05.2012 г. № 442 «О функционировании розничных рынков электрической энергии, полном и (или) частичном ограничении режима потребления электрической энергии» предусмотрено, что субъекты электроэнергетики, обеспечивающие снабжение электрической энергией потребителей, в том числе гарантирующие поставщики, энергосбытовые (энергоснабжающие) организации, сетевые организации, системный оператор и субъекты оперативно-диспетчерского управления в технологически изолированных территориальных электроэнергетических системах, а также производители электрической энергии (мощности), в ходе исполнения своих обязательств по заключаемым ими на оптовом рынке и розничных рынках договорам совместными действиями обеспечивают на розничных рынках надежность снабжения потребителей и качество электрической энергии.

Исполнение субъектами энергетических рынков своей обязанности по подаче потребителям энергии надлежащего качества обеспечивается установленной в договоре и/или в законе ответственностью за ее нарушение. Ответственность за нарушение установленной договором и/или законом обязанности подразделяется на гражданско-правовую, административную и уголовную. При этом уголовная ответственность наступает только вследствие виновных действий установленного лица (или лиц), повлекших причинение существенного вреда потерпевшему (потерпевшим).

Гражданско-правовая ответственность за нарушение требований к качеству подаваемой энергии. По нашему мнению, главным пробелом в правовом регулировании отношений сторон по договору энергоснабжения (поставки энергии), связанных с соблюдением требований к качеству подаваемой энергии, является отсутствие утвержденных методик определения размера гражданско-правовой ответственности за нарушение этих требований в денежном выражении.

Еще в 2000 г. авторы [2] отмечали, что проблема определения размера платы за электрическую энергию с учетом ее качества на электроэнергетическом рынке остается нерешенной, а немногочисленные попытки ее решить в последние годы неизменно терпели неудачу. С тех пор прошло 16 лет, за которые в этой области мало что изменилось.

Используемый до середины 90-х годов прошлого века документ, основанный на действующих в то время методиках определения размера ответственности виновного в ухудшении того или иного показателя качества электроэнергии путем введения шкалы скидок и надбавок к тарифам [3], утратил свою юридическую силу с принятием ч. 2 ГК РФ.

Следует отметить, что используемый в [3] подход порождал много разногласий по причине отсутствия технической и методической базы для объективного установления виновного в ухудшении качества электрической энергии, степени его вины и размера реального ущерба, причиняемого им своему контрагенту по договору энергоснабжения. А в силу того, что ст. 542 и 547 ГК РФ установлены специальные формы ответственности по договору энергоснабжения, этот подход вообще оказался вне закона.

Предоставив в п. 2 ст. 542 ГК РФ потребителю (абоненту) право отказаться от оплаты некачественной энергии как единственно возможное правомочие из тех, которые предусмотрены ст. 475 ГК РФ для покупателя по договору купли-продажи, и введя государственное регулирование тарифов путем принятия Федерального закона от 14.04.1995 г. № 41–ФЗ «О государственном регулировании тарифов на электрическую и тепловую энергию в Российской Федерации», законодатель лишил стороны договора энергоснабжения возможности самим урегулировать проблему путем внесения в договор соответствующих условий, что было неоднократно подтверждено судебной практикой.

Ст. 542 ГК РФ также не предусматривает ответственности абонента за ухудшение качества энергии, что существенно ущемляет права энергоснабжающей организации, так как у нее остается только возможность требовать с абонента возмещения реального ущерба, причиненного его отрицательным влиянием на качество электрической энергии в сети энергоснабжающей организации, а трудности доказывания реального ущерба в российских судах и его взаимной связи с декларируемыми истцами причинами возникновения этого ущерба хорошо известны.

Надежды на то, что проблемы применения п. 2 ст. 542 ГК РФ будут решены путем формирования единообразия судебной практики, за прошедшее с 2000 г. время не оправдались. Изучая судебную практику, приходится сталкиваться с прямо противоположными вы-

водами судов по аналогичным обстоятельствам дел, рассмотренных арбитражными судами. Поясним это на примере споров о поставке тепловой энергии ненадлежащего качества, поскольку споры, связанные с оплатой электрической энергии ненадлежащего качества в судебной практике практически отсутствуют. Объяснить это можно тем обстоятельством, что у подавляющего числа потребителей электрической энергии отсутствует оборудование, позволяющее вести постоянный мониторинг качества подаваемой электрической энергии, и значит, у них отсутствует доказательственная база, необходимая для мотивированного обращения в суд с иском. Контроль же за качеством тепловой энергии осуществить значительно проще, а значит и споры возникают намного чаще.

Так, в определении Высшего Арбитражного Суда РФ от 12.05.2011 г. № ВАС–6174/11 по делу № А56–13702/2010, в котором рассматривались требования энергоснабжающей организации к абоненту о взыскании неосновательного обогащения в связи с отказом от оплаты тепловой энергии ненадлежащего качества, судья ВАС РФ пришел к выводу, что «реализуя предусмотренное п. 1 ст. 542 ГК РФ право отказаться от оплаты энергии в случае нарушения энергоснабжающей организацией требований, предъявляемых к качеству энергии, абонент не вправе использовать энергию, отпускаемую с нарушением условий о качестве».

Вместе с тем при разрешении спора апелляционный суд установил, что поставленная энергоснабжающей организацией в январе 2010 г. тепловая энергия ненадлежащего качества фактически использована абонентом. В связи с этим суд пришел к выводу о наличии оснований для взыскания с абонента стоимости такой энергии согласно п. 2 ст. 542 и п. 2 ст. 1105 ГК РФ.

Довод абонента о недоказанности размера неосновательного обогащения, т.е. стоимости фактически потребленной энергии, по мотиву неправомерности взимания в составе тарифа прибыли энергоснабжающей организации не принимается. Согласно п. 1 ст. 424 ГК РФ, в предусмотренных законом случаях исполнение договора оплачивается по цене (тарифам), устанавливаемым или регулируемым уполномоченными на то государственными органами.

Суд апелляционной инстанции указал, что стоимость неосновательно сэкономленной абонентом тепловой энергии рассчитана энергоснабжающей организацией исходя из тарифа, установленного ре-

шением уполномоченного органа, что соответствует п. 2 ст. 542 и п. 2 ст. 1105 ГК РФ. В силу положений ст. 424 ГК РФ и Федерального закона от 14.04.1995 г. № 41–ФЗ «О государственном регулировании тарифов на электрическую и тепловую энергию в Российской Федерации» этот тариф подлежал применению энергоснабжающей организацией при расчетах за тепловую энергию с потребителями.

Действующим законодательством не предусмотрено исключение из тарифа на тепловую энергию при его применении каких-либо величин, использованных при установлении. При этом суд апелляционной инстанции установил, что представленный энергоснабжающей организацией расчет неосновательного обогащения в размере стоимости потребленной абонентом в спорный период тепловой энергии последним не опровергнут, контррасчет не представлен.

Таким образом, по мнению судьи ВАС РФ, абонент в случае выявления факта подачи ему энергии ненадлежащего качества должен незамедлительно прекратить пользоваться такой тепловой энергией и самостоятельно отключить отопление, иначе, он не вправе будет отказаться от оплаты некачественной энергии. То обстоятельство, что в это время на улице может быть сорокаградусный мороз, при котором полное отключение отопления неизбежно приведет к тяжелым последствиям, никакого правового значения для судов, рассматривающих это дело, не имело.

С другой стороны, Арбитражный суд Волго-Вятского округа в своем постановлении от 05.05.2015 г. № Ф01–1194/2015 по аналогичному делу № А28–12777/2013 пришел к иному выводу: «Лицо, неосновательно временно пользовавшееся чужим имуществом без намерения его приобрести либо чужими услугами, должно возместить потерпевшему то, что оно сберегло вследствие такого пользования, по цене, существовавшей во время, когда закончилось пользование, и в том месте, где оно происходило (п. 2 ст. 1105 ГК РФ)».

Для возникновения обязательства из неосновательного обогащения необходимо наличие совокупности следующих обстоятельств: возрастание или сбережение имущества (неосновательное обогащение) на стороне приобретателя; убытки на стороне потерпевшего; убытки потерпевшего являются источником обогащения приобретателя (обогащение за счет потерпевшего); отсутствие надлежащего правового основания для наступления вышеуказанных имущественных последствий. Недоказанность одного из этих обстоятель-

ств является достаточным основанием для отказа в удовлетворении иска и не требует оценки прочих доводов заявителя.

Возмещение стоимости использованной энергии предполагает доказанность требований по размеру.

При рассмотрении дела в суде первой инстанции по ходатайству энергоснабжающей организации суд назначил судебную экспертизу, согласно заключению которой от 07.08.2014 г. № 2014-07И/14 абонент неосновательно сберег 2459,2 Гкал тепловой энергии вследствие использования тепловой энергии ненадлежащего качества с октября 2012 г. по февраль 2013 г.

Судебные инстанции исследовали методику произведенного в заключении эксперта расчета и признали ее неправомерной, установив, что сумма неосновательного обогащения абонента рассчитана экспертом по экономически обоснованному тарифу за энергию надлежащего качества, утвержденному Правлением региональной службы по тарифам Кировской области от 16.11.2012 г. № 47/4 «О тарифах на тепловую энергию».

Отказав в удовлетворении иска, суд первой инстанции и поддержавший его суд апелляционной инстанции исходили из того, что «применение при расчете задолженности тарифа, установленного регулирующим органом на качественную тепловую энергию, и этого же тарифа для оплаты некачественной энергии, в совокупности с обязанностью ответчика оплатить объемы некачественной энергии, на чем настаивает энергоснабжающая организация, по существу снимают с нее обязательства по поставке тепловой энергии надлежащего качества. Это также противоречит как условиям договора, так и требованиям законодательства».

Таким образом, судебная коллегия Арбитражного суда Волго-Вятского округа указала на недопустимость применения при расчете суммы неосновательного обогащения, возникшего в связи с потреблением некачественной энергии, тарифа, рассчитанного для качественной энергии, и полностью отказала в удовлетворении исковых требований.

Со своей стороны мы считаем необходимым отметить, что с точки зрения указаний Пленума Верховного Суда РФ, содержащихся в постановлении от 24.03.2016 г. № 7 «О применении судами некоторых положений Гражданского кодекса РФ об ответственности за нарушение обязательств» [4], оба приведенных судебных акта

нельзя признать в полной мере законными и обоснованными. В упомянутом постановлении Пленум Верховного Суда РФ изложил позицию, согласно которой суд не может отказать в удовлетворении требования кредитора о возмещении убытков, причиненных неисполнением или ненадлежащим исполнением обязательства, только на том основании, что размер убытков не может быть установлен с разумной степенью достоверности. В этом случае размер подлежащих возмещению убытков определяется судом с учетом всех обстоятельств дела, исходя из принципов справедливости и соразмерности ответственности допущенному нарушению обязательства. По нашему мнению, эта позиция должна применяться судами и при рассмотрении требований о взыскании неосновательного обогащения, основанных на п. 2 ст. 542 ГК РФ, поскольку судебные решения, основанные на позиции: «все или ничего», не отвечают принципам справедливости и соразмерности ответственности допущенному нарушению обязательства по поставке энергии надлежащего качества.

Таким образом, в настоящее время вопрос определения стоимости некачественной энергии, использованной абонентом, оказался во власти судебского усмотрения, которое, вероятнее всего, будет обосновываться заключениями судебных экспертов.

Правовые основы деятельности судебных экспертов определены Федеральным законом от 31.05.2001 г. № 73–ФЗ «О государственной судебно-экспертной деятельности в Российской Федерации» [5]. В соответствии со статьями 8 и 25 этого Федерального закона эксперт проводит исследования объективно, на строго научной и практической основе, в пределах соответствующей специальности, всесторонне и в полном объеме. Заключение эксперта должно базироваться на положениях, дающих возможность проверить обоснованность и достоверность сделанных выводов с учетом общепринятых научных и практических данных. В заключении эксперта должны быть приведены содержание и результаты исследований с указанием примененных методов (методик). Примененные экспертом методы и приемы должны быть описаны подробно, чтобы при необходимости можно было проверить правильность выводов эксперта, повторив исследование.

В своей статье [2] мы предложили научную методику монетизации нарушения требований к качеству электрической энергии. В

настоящее время первоочередной задачей в этой области является разработка строго научных методов (методик), соответствующих требованиям [5], позволяющих судебным экспертам производить объективные расчеты сумм неосновательного обогащения, получаемого потребителями энергии (тепловой и электрической) при использовании энергии ненадлежащего качества.

Идеальным решением задачи станет разработка единой методики, утвержденной нормативным актом, которую абоненты могли бы применять самостоятельно для расчета стоимости потребленной ими энергии ненадлежащего качества, что дало бы существенную судебную экономию вследствие разрешения большинства споров между сторонами договора энергоснабжения (поставки энергии) в порядке досудебного разбирательства.

Другой проблемой привлечения к гражданско-правовой ответственности лиц, виновных в нарушении требований к качеству подаваемой энергии, является проблема определения размера нанесенных ими убытков.

В целях формирования единообразия применения норм ГК РФ о возмещении убытков Пленум Верховного Суда РФ в постановлении [4] дал следующие разъяснения. Должник обязан возместить кредитору убытки, причиненные неисполнением или ненадлежащим исполнением обязательства (п. 1 ст. 393 ГК РФ). Если иное не предусмотрено законом или договором, убытки подлежат возмещению в полном размере. В результате их возмещения кредитор должен быть поставлен в положение, в котором он находился бы, если бы обязательство было исполнено надлежащим образом (ст. 15, п. 2 ст. 393 ГК РФ). Если иное не установлено законом, использование кредитором иных способов защиты нарушенных прав, предусмотренных законом или договором, не лишает его права требовать от должника возмещения убытков, причиненных неисполнением или ненадлежащим исполнением обязательства (п. 1 ст. 393 ГК РФ).

Согласно ст. 15 и 393 ГК РФ, в состав убытков входят реальный ущерб и упущенная выгода. При определении размера убытков необходимо учитывать, что в силу положения ст. 547 ГК РФ ответственность сторон договора энергоснабжения ограничивается размером реального ущерба. Под реальным ущербом понимаются расходы, которые кредитор произвел или должен будет произвести для восстановления нарушенного права, а также утрата или повреждение

его имущества.

По смыслу ст. 15 и 393 ГК РФ, для взыскания убытков кредитор представляет доказательства, подтверждающие наличие у него убытков, а также обосновывающие с разумной степенью достоверности их размер и причинную связь между неисполнением или ненадлежащим исполнением обязательства должником и названными убытками. Должник вправе предъявить возражения относительно размера причиненных кредитору убытков и представить доказательства, что кредитор мог уменьшить такие убытки, но не принял для этого разумных мер (ст. 404 ГК РФ).

При установлении причинной связи между нарушением обязательства и убытками необходимо учитывать, в частности, к каким последствиям в обычных условиях гражданского оборота могло привести подобное нарушение. Если возникновение убытков, возмещения которых требует кредитор, является обычным последствием допущенного должником нарушения обязательства, то наличие причинной связи между нарушением и доказанными кредитором убытками предполагается.

Должник, опровергающий доводы кредитора относительно причинной связи между своим поведением и убытками кредитора, не лишен возможности представить доказательства существования иной причины возникновения этих убытков.

Вина должника в нарушении обязательства предполагается, пока не доказано обратное. Отсутствие вины в неисполнении или ненадлежащем исполнении обязательства доказывается должником (п. 2 ст. 401 ГК РФ).

Если должник несет ответственность за нарушение обязательства или причинение вреда независимо от вины, то на него возлагается бремя доказывания обстоятельств, являющихся основанием для освобождения от такой ответственности, например обстоятельств непреодолимой силы (п. 3 ст. 401 ГК РФ).

Применительно к энергоснабжению вышеуказанные нормы обобщенно можно изложить следующим образом:

– вред, причиненный жизни, здоровью или имуществу гражданина, а равно и юридического лица, вследствие несоответствия качества поданной энергии требованиям государственного стандарта, подлежит возмещению в полном объеме;

– право требовать возмещения вреда, причиненного вследствие несоответствия качества энергии требованиям государственного стандарта, признается за любым потерпевшим независимо от того, состоял он в договорных отношениях с энергоснабжающей организацией или нет;

– энергоснабжающая организация несет ответственность за ненадлежащую информацию о качестве подаваемой потребителю энергии;

– энергоснабжающая организация освобождается от ответственности, если докажет, что вред причинен вследствие непреодолимой силы или нарушения потребителем правил пользования соответствующим видом энергии.

Несмотря на то что потребителям законом предоставляются широкие возможности по защите своих прав, гражданско-процессуальным законодательством на истца возлагается обязанность доказать те обстоятельства, на которые он ссылается как на основание своего иска. Таким образом, гражданин или юридическое лицо, обратившиеся с иском к энергоснабжающей организации, обязаны предоставить в суд заключение экспертизы о том, что выход из строя его бытовых приборов связан с подачей энергии ненадлежащего качества.

При этом необходимо отметить, что экспертиза по гражданскому делу может назначаться как на стадии судебного разбирательства, так и подготовки дела. Но независимо от этого лица, участвующие в деле, в обязательном порядке должны извещаться о совершении данного процессуального действия, поскольку они вправе на основе состязательности и равноправия представить вопросы, которые должны быть разъяснены экспертом, а также высказать мнение о кандидатуре эксперта.

Таким образом, в случае предъявления требования о возмещении убытков (вреда), решение по делу будет основываться на заключении эксперта и на представленных доказательствах причинной связи между возникшими убытками и нарушением нормативных требований к качеству подаваемой энергии. Суд не может отказать в удовлетворении требования о возмещении убытков, причиненных подачей энергии ненадлежащего качества, только на том основании, что размер возмещения не может быть установлен с разумной степенью достоверности. В этом случае размер подлежащих возмещению

убытков определяется судом с учетом всех обстоятельств дела, исходя из принципов справедливости и соразмерности.

По нашему мнению, в условиях, когда установление соглашением сторон договора энергоснабжения сниженного тарифа для энергии ненадлежащего качества запрещено законом, действенным способом понуждения энергосбытовых организаций к исполнению ими своей обязанности по подаче абонентам энергии надлежащего качества могло бы стать установление в договоре энергоснабжения неустойки за нарушение условий договора о качестве энергии в виде пени или штрафа.

Применительно к отношениям граждан с энергоснабжающими организациями законная неустойка в виде снижения размера платы за подаваемую потребителю энергию установлена «Правилами предоставления коммунальных услуг собственникам и пользователям помещений в многоквартирных домах и жилых домов» (далее Правила), утвержденными постановлением Правительства Российской Федерации от 06.05.2011 г. № 354 [6]. В соответствии с п. 31 Правил исполнитель обязан предоставлять потребителю коммунальные услуги в необходимых для него объемах и надлежащего качества согласно требованиям законодательства РФ, Правилам и договору, содержащему положения о предоставлении коммунальных услуг (подпункт «а»). Качество предоставляемых коммунальных услуг должно соответствовать требованиям, приведенным в Приложении № 1 к Правилам, согласно п. 10 которого напряжение и частота должны соответствовать требованиям ГОСТа 13109–97 [7] и ГОСТа 29322–92 [8]; отклонение напряжения и (или) частоты электрического тока от требований нормативных документов не допускается. В связи с тем, что ГОСТ 13109–97 [7] утратил силу на территории РФ с 01.07.2014 г., применению подлежит ГОСТ 32144–2013 [9], что подтверждается судебными актами Верховного Суда РФ, несмотря на то, что изменения в тексте Правил своевременно не были внесены.

В соответствии с п. 149 Правил исполнитель несет установленную законодательством РФ административную, уголовную или гражданско-правовую ответственность за:

- нарушение качества предоставления потребителю коммунальных услуг;
- вред, причиненный жизни, здоровью и имуществу потребите-

ля вследствие нарушения качества предоставления коммунальных услуг, а также не предоставления потребителю полной и достоверной информации о предоставляемых коммунальных услугах;

- убытки потребителю в результате нарушения исполнителем прав потребителей, в том числе в результате договора, содержащего условия, ущемляющие права потребителя по сравнению с настоящими Правилами;

- моральный вред (физические или нравственные страдания), причиненный потребителю вследствие нарушения исполнителем прав потребителей, предусмотренных жилищным законодательством РФ, в том числе Правилами.

Согласно п. 150 и 157 Правил, исполнитель, допустивший нарушение качества предоставления коммунальной услуги вследствие предоставления потребителю коммунальной услуги ненадлежащего качества и (или) с перерывами, превышающими установленную продолжительность, обязан произвести в соответствии с положениями Правил перерасчет потребителю размера платы за такую коммунальную услугу в сторону ее уменьшения вплоть до полного освобождения потребителя от оплаты такой услуги.

При этом потребитель вправе требовать от исполнителя уплаты неустоек (штрафов, пеней) в размере, указанном в Федеральном законе РФ от 07.02.1992 г. № 2300–1 (ред. от 03.07.2016 г.) «О защите прав потребителей», в случае если параметры напряжения и частоты в электрической сети в помещении потребителя не отвечают требованиям, установленным законодательством РФ.

Согласно п. 10 Приложения № 1 к Правилам, за каждый час снабжения электрической энергией, не соответствующей требованиям законодательства РФ о техническом регулировании, суммарно в течение расчетного периода, в котором произошло отклонение напряжения и (или) частоты электрического тока от указанных требований, размер платы за коммунальную услугу за такой расчетный период снижается на 0,15 % размера платы, определенного за такой расчетный период в соответствии с Приложением № 2 к Правилам, с учетом положений разд. IX Правил.

Однако размер неустойки, установленный Правилами, является незначительным и не побуждает исполнителя коммунальной услуги к соблюдению требований к качеству подаваемой энергии, кроме того, как показывает судебная практика, соблюдение установленного

порядка выявления и фиксации факта нарушения исполнителем коммунальной услуги требований к качеству электрической энергии вызывает определенные проблемы, что делает практически невозможным самостоятельное взыскание потребителем этой неустойки без поддержки уполномоченного административного органа, имеющего возможность привлечь сертифицированную лабораторию для контроля за качеством электрической энергии. Несколько проще решается вопрос с контролем за качеством подаваемой тепловой энергии, в связи с чем и судебная практика разрешения споров по поводу качества тепловой энергии существенно шире.

Административная ответственность за нарушение требований к качеству подаваемой энергии. Административные и административно-процессуальные нормы законодательства определенным образом связаны с материальным гражданским правом, обеспечивая реализацию некоторых разновидностей гражданско-правовых отношений. В частности, в п. 1 ст. 8 ГК РФ определено, что гражданские права и обязанности могут возникать из актов государственных органов, в том числе органов исполнительной власти и органов местного самоуправления, которые предусмотрены законом в качестве основания возникновения гражданских прав и обязанностей.

Необходимо отметить, что в соответствии с п. 2 ст. 11 ГК РФ защита гражданских прав в административном порядке осуществляется лишь в случаях, предусмотренных законом, а решение, принятое в административном порядке, может быть обжаловано в суде.

Административная ответственность за нарушение требований к качеству подаваемой потребителям энергии установлена ст. 7.23 и 14.43 Кодекса Российской Федерации об административных правонарушениях от 30.12.2001 г. № 195–ФЗ [10].

Ст. 7.23 КоАП РФ устанавливает ответственность за нарушение нормативного уровня или режима обеспечения населения коммунальными услугами, а ст. 14.43 КоАП РФ – за нарушение изготовителем, исполнителем (лицом, выполняющим функции иностранного изготовителя), продавцом требований технических регламентов или подлежащих применению до дня вступления в силу соответствующих технических регламентов, обязательных требований к продукции либо за выпуск в обращение продукции, не соответствующей таким требованиям.

Практика применения указанных норм КоАП РФ сформирована в постановлениях Судебной коллегии по административным делам Верховного Суда РФ. Из постановлений Верховного Суда РФ следует, что если контроль качества электрической энергии проводился административным органом в системе электроснабжения потребителя – физического лица на границе раздела сетей жилого дома и общей сети электроснабжения – в точке, где исходя из положений п. 21 Правил ресурсоснабжающая организация несет ответственность за качество предоставления коммунальной услуги соответствующего вида, и если в ходе мероприятия по контролю качества электрической энергии проверка проводилась по параметрам, указанным в п. 10 Приложения № 1 к Правилам, когда на предмет соответствия требованиям [9] проверяются только частота и напряжение в сети, то ответственность ресурсоснабжающей организации, в качестве которой могут выступать энергосбытовая компания или гарантирующий поставщик, наступает по ст. 7.23 КоАП РФ.

Если же контроль качества электрической энергии проводился на предмет соответствия ее требованиям [9] при строгом соблюдении требований к контролю качества энергии, регламентированным ГОСТом 33073–2014 [11], введенным в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 08.12.2014 г. № 1948–ст, и обязательным для применения в соответствии с ч. 1 ст. 46 Федерального закона от 27.12.2002 г. № 184–ФЗ «О техническом регулировании», то ответственность энергоснабжающей организации за отклонение показателей качества электрической энергии от требований [9] наступает по ст. 14.43 КоАП РФ.

Административными органами, в чьи полномочия входят контроль за качеством электрической энергии в сети и привлечение к административной ответственности лиц, виновных в совершении административных правонарушений, предусмотренных ст. 7.23 и 14.43 КоАП РФ, являются подразделения территориальных управлений Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт) или Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Роспотребнадзор), а также Государственная жилищная инспекция.

Представленный выше анализ позволяет сделать следующие выводы.

Для решения задачи привлечения к гражданско-правовой ответственности лиц, виновных в нарушении требований государственных стандартов к качеству подаваемой энергии, необходима разработка единых научных методик и рекомендаций для судебных экспертов, позволяющих с достаточной степенью достоверности установить стоимость вынужденно потребленной абонентами энергии ненадлежащего качества, а также размер ущерба, причиненного имуществу абонента в результате подачи ему энергии ненадлежащего качества, включая скрытый ущерб, связанный с сокращением общего срока службы энергопотребляющих приборов и оборудования абонента, подключенного к сети, в которой показатели качества энергии не соответствуют требованиям государственных стандартов, но не выходят за критические значения, приводящие к мгновенному отключению или выходу из строя энергопотребляющих приборов и оборудования абонента.

В целях повышения ответственности энергоснабжающих организаций за нарушение требований к качеству подаваемой энергии в условиях опережающего роста тарифов потребителям (абонентам) рекомендуется настаивать, в том числе в судебном порядке, на включении в договор энергоснабжения условия об обязанности энергоснабжающей организации уплачивать неустойку за подачу энергии ненадлежащего качества.

Следует разработать методические указания, позволяющие определять размер неустойки в зависимости от вида и характеристик энергопотребляющих приборов и оборудования абонента таким образом, чтобы неустойка безусловно покрывала затраты абонента на установку необходимых защитных устройств и источников бесперебойного питания, а также дополнительные расходы, связанные с сокращением срока службы приборов и оборудования по причине ненадлежащего качества подаваемой электрической энергии.

При проверке законности привлечения энергоснабжающих организаций к административной ответственности, предусмотренной ст. 7.23 и 14.43 КоАП РФ, суды особое внимание уделяют правильной квалификации совершенного административного правонарушения и соблюдению установленных нормативными актами требований к контролю качества энергии.

2.2. Развитие нормативно-технического и метрологического обеспечения и проблемы регулирования качества электрической энергии

Обеспечение надлежащего качества электрической энергии в системах электроснабжения остается важной и еще не решенной задачей электроэнергетики. Качество электрической энергии в электрических сетях связано, с одной стороны, с деятельностью сетевых организаций и иных субъектов электроэнергетики, а с другой стороны – с функционированием технических средств, подключаемых к сетям и являющихся источниками кондуктивных помех, и тоже чувствительных к воздействию подобных помех. По мере все увеличивающегося объема нагрузок таких технических средств и старения объектов электросетевого хозяйства возрастает и актуальность решения рассматриваемой задачи.

Необходимым условием для этого является обеспечение управления качеством электрической энергии как продукции со специфическими свойствами, зависящими от многих факторов, связанных с ее производством, транспортировкой и потреблением. Под управлением понимается комплексная деятельность субъектов электроэнергетики в сферах:

- улучшения и поддержания на должном уровне технического состояния объектов электрохозяйства;
- разработки и актуализации необходимого нормативного, методического, метрологического и технического обеспечения для управления бизнес-процессами, влияющими на качество электрической энергии;
- организации контроля, мониторинга, анализа качества электрической энергии и разработки мероприятий для его улучшения и поддержания;
- выстраивания договорных отношений на оптовом и розничном рынках электроэнергетики с партнерами и потребителями электрической энергии, учитывающих требования к качеству передаваемой/поставляемой электрической энергии и ответственности за нарушение договорных условий, что требует разработки и узаконивания системы экономического стимулирования поставки качественной электрической энергии.

В каждой из указанных сфер за последние десятилетия достигнуты определенные положительные результаты, но еще имеются нерешенные задачи и проблемы.

Оценивая существующий нормативно-технический статус проблемы обеспечения качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения, необходимо отметить значительное развитие в последнее десятилетие нормативного, методического и метрологического обеспечения решения задач контроля и управления качеством электрической энергии, которое можно считать определенным прорывом в этой области.

Проблемной остается последняя из перечисленных выше сфер управления. В рыночных условиях при наличии многих субъектов электроэнергетики, от деятельности которых зависит качество электрической энергии в точке поставки конечному потребителю, понятие «качество электрической энергии» становится элементом, который должен учитываться во взаимоотношениях указанных субъектов. На практике это далеко или совсем не так, что связано с несовершенством действующего законодательства и правовых норм в области качества электрической энергии.

Развитие нормативно-технического и метрологического обеспечения. Почти до конца 90-х годов прошлого века в СССР и затем в РФ не было нормативных документов по методам измерений и контролю качества электрической энергии, общих технических требований к средствам измерения показателей качества электрической энергии и практически, за небольшим исключением, самих специализированных средств измерения.

С введением в действие в 1999 г. ГОСТа 13109–97 [7] потребовалась разработка руководящих документов по контролю и анализу качества электрической энергии [12, 13] с учетом требований [7]. Выпуск этих документов был очень важен для организации и проведения работ по контролю и анализу качества электрической энергии. В [12, 13] были детализированы требования к методам и средствам измерения показателей качества электрической энергии, обработке результатов измерений, метрологическим характеристикам, а также установлены методические положения по контролю качества электрической энергии. Появление этих документов позволило, с учетом возросшего спроса на средства измерения показателей качества электрической энергии, вызванного введением обязательной сертифика-

ции электрической энергии постановлением Правительства РФ от 13.08.1997 г. № 1013 «Об утверждении перечня товаров, подлежащих обязательной сертификации, и перечня работ и услуг, подлежащих обязательной сертификации», в короткие сроки разработать необходимые средства измерения, наладить их массовый выпуск, начать организацию мероприятий по испытаниям электрической энергии и контролю ее качества.

В результате, к началу XXI в. определилась структура нормативно-технического и методического обеспечения в области измерения и контроля качества электрической энергии, отраженная на рис. 2.1.

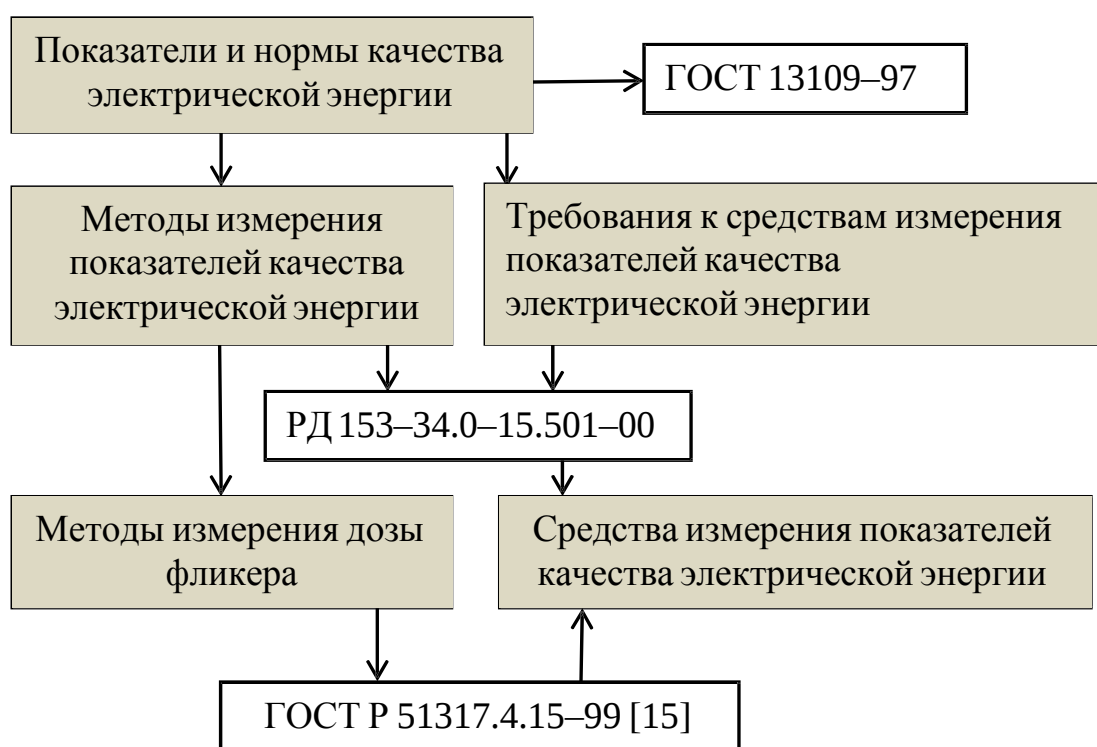


Рис. 2.1. Нормативно-техническое и методическое обеспечение в области измерения показателей и контроля качества электрической энергии на конец 1990-х годов.

По существу, впервые за годы существования [7] были созданы реальные предпосылки для обеспечения управления и контроля качества электрической энергии в соответствии с требованиями стандарта с учетом формирования требуемых организационных структур энергокомпаний, методического обеспечения бизнес-процессов, влияющих на качество электрической энергии, массового оснащения

энергокомпаний и испытательных лабораторий специальными средствами измерений.

В 2008 г. на основе [12], срок действия которого закончился, был разработан ГОСТ Р 53333–2008 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Контроль качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения» [14], в котором были установлены основные положения по организации и проведению контроля качества электрической энергии в соответствии с требованиями [7] и правила оценки соответствия показателей качества электрической энергии установленным нормам. Стандарт применялся при различных видах контроля, в том числе при проведении сертификационных и арбитражных испытаний электрической энергии, инспекционного контроля за сертифицированной электрической энергией, а также при осуществлении государственного надзора за качеством электрической энергии.

Реформирование электроэнергетики, переход к рыночным отношениям в рамках оптового и розничного рынка электроэнергии (мощности) с реструктуризацией ОАО «РАО ЕЭС», разделением энергоснабжающих организаций на отдельные субъекты электроэнергетики с функциями производства, передачи, распределения и продажи/сбыта электрической энергии привели к противоречиям ряда положений [7], связанным с реалиями экономики и существующими нормативно-правовыми актами в области электроэнергетики.

Суть главного противоречия заключалась в том, что показатели и нормы качества электрической энергии, установленные в [7], относились к точкам общего присоединения электроустановок потребителей к системам электроснабжения общего назначения, тогда как в новых условиях требования к качеству электрической энергии при заключении договора об оказании услуг по передаче электрической энергии устанавливались для точек поставки/передачи электрической энергии. Кроме того, сетевая компания не может отвечать за качество электрической энергии на вводах электроприемников в сети потребителей в случае отклонения напряжения от принятых норм, как это установлено в [7], поскольку данные точки находятся вне ее балансовой принадлежности и, соответственно, вне сферы ее ответственности.

В 2009 г. были разработаны стандарты по методам измерения показателей качества электрической энергии, модифицированные по

отношению к международным стандартам:

– ГОСТ Р 51317.4.30–2008 (МЭК 61000–4–30: 2008) «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Методы измерений показателей качества электрической энергии»;

– ГОСТ Р 51317.4.7–2008 (МЭК 61000–4–7: 2002) «Совместимость технических средств электромагнитная. Общее руководство по средствам измерений и измерениям гармоник и интергармоник для систем электроснабжения и подключаемых к ним технических средств».

Изложенные в них методы измерения показателей качества электрической энергии существенно отличались по ряду подходов от основополагающих положений [7] и обуславливали необходимость изменения требований к составу показателей качества электрической энергии, точности их измерения, характеристикам средств измерения. По этой причине в ГОСТе Р 51317.4.30–2008 были введены два класса измерений показателей качества электрической энергии: А и S, различающиеся требованиями к характеристикам процессов измерения.

Класс А (*advanced* – высокий) должен применяться, если необходимо проведение точных измерений, например, при проверке соответствия стандартам, устанавливающим нормы качества электрической энергии; выполнении условий договоров, предусматривающих возможность разрешения спорных вопросов путем измерений и т.д. Любые измерения показателя качества электрической энергии, проведенные двумя различными средствами измерения, соответствующими требованиям класса А, должны при измерении одних и тех же сигналов обеспечивать получение воспроизводимых результатов с установленной для данного показателя неопределенностью.

Класс S (*survey* – для наблюдений) должен применяться при проведении обследований и оценке качества электрической энергии с использованием статистических методов, в том числе при ограниченной номенклатуре показателей. Хотя интервалы времени измерения показателей для классов А и S одинаковые, требования к характеристикам процесса измерения класса S снижены.

Для каждого класса измерений установлены методы измерения и соответствующие требования к характеристикам средств измерения.

Эти факты и обстоятельства обусловили разработку нового национального стандарта в рамках Национальной программы стандартизации 2009 г. – ГОСТа Р 54149–2010 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения», вступившего в действие 01.01.2013 г. [16]. Стандарт устанавливает показатели и нормы качества электрической энергии в точках передачи электрической энергии пользователям электрических сетей.

В связи с переходом государств, являющихся членами Евразийского экономического союза, на применение единых технических регламентов и единых межгосударственных стандартов национальные стандарты РФ в области качества электрической энергии в 2013 г. были переоформлены в межгосударственные стандарты и введены в действие на территории Российской Федерации в качестве национальных (табл. 2.1) с одновременной отменой прежних национальных стандартов.

Т а б л и ц а 2.1

Соответствие межгосударственных стандартов РФ действовавшим национальным стандартам

Национальный стандарт	Межгосударственный стандарт	Ввод в действие межгосударственного стандарта
ГОСТ Р 54149-2010	ГОСТ 32144-2013	01.07.2014 г.
ГОСТ Р 51317.4.30-2008	ГОСТ 30804.4.30-2013	01.07.2014 г.
ГОСТ Р 51317.4.7-2008	ГОСТ 30804.4.7-2013	01.07.2014 г.
ГОСТ Р 53333-2008	ГОСТ 32145-2013	01.07.2014 г. (до 01.01.2015)

Однако в эту систему в полной мере не вписывался ГОСТ 32145–2013[17], поскольку ряд его положений, ориентированных на применение требований [7], вступал в противоречия с требованиями ГОСТа 32144–2013 [9] и ГОСТа 30804.4.30–2013 [18]. По этим причинам в Национальную программу стандартизации 2013–2014гг. была включена разработка нового межгосударственного стандарта «ГОСТ 33073–2014. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Контроль и мониторинг качества электрической

энергии в системах электроснабжения общего назначения» [11], проект которого прошел широкое обсуждение в субъектах электроэнергетики и других организациях. Стандарт введен в действие на территории РФ в качестве национального стандарта с 01.01.2015 г. Существенным отличием [11] от [17] является разделение области его применения на две части:

1) установление положений по организации и проведению контроля качества электрической энергии с целью определения соответствия электрической энергии нормам, установленным в [9], условиям договоров на поставку электрической энергии и/или на оказание услуг по передаче электрической энергии;

2) установление положений по организации и проведению мониторинга качества электрической энергии в электрических сетях сетевых организаций и потребителей электрической энергии в целях обследования (наблюдений) для оценки и управления качеством электрической энергии.

Разделение контроля и мониторинга качества электрической энергии не случайно. Объективно существуют два различных процесса согласно [9]: оценка соответствия качества электрической энергии установленным нормам и обследование, наблюдение за показателями качества электрической энергии, характеризующиеся существенно различающимися требованиями к точности проводимых измерений.

Область контроля качества электрической энергии относительно узкая. Она включает в себя контроль при осуществлении государственного контроля и надзора, проведении сертификационных и арбитражных испытаний электрической энергии, инспекционном контроле за сертифицированной электрической энергией, выполнении условий договора в части обеспечения качества электрической энергии. Контроль с проведением точных измерений проводится, следовательно, только тогда, когда возникает необходимость подтверждения соответствия качества передаваемой/поставляемой электрической энергии установленным требованиям с применением средств измерения с параметрами, отвечающими измерениям класса А. При этом процедуры контроля качества электрической энергии осуществляются независимыми аккредитованными организациями.

Область мониторинга качества электрической энергии существенно шире. Мониторинг выполняется при проведении периодических испытаний электрической энергии по планам-графикам сетевых организаций и потребителей при определении технических условий для технологического присоединения энергопринимающих устройств к электрической сети, подготовке электрических сетей к сертификации электрической энергии, допуске к эксплуатации энергопринимающих устройств потребителей, ухудшающих качество электрической энергии, разработке мероприятий для поддержания необходимого уровня качества электрической энергии в точках передачи/поставки электрической энергии и др. Процедуры мониторинга разрабатывают и осуществляют сетевые организации и потребители. На проводимые при этом измерения не распространяется сфера государственного регулирования обеспечения единства измерений, что допускает применение менее точных и дорогих средств измерения класса S в соответствии с [19]. В данном случае не столько важно получить точные значения показателей качества электрической энергии, сколько оценить текущее состояние, необходимость корректирующих мероприятий. По сути, мониторинг должен быть связан с задачами управления качеством электрической энергии.

В [11] установлен порядок выбора пунктов контроля и мониторинга качества электрической энергии, пересмотрены требования к средствам измерения и продолжительности измерений при контроле и мониторинге, сформулированы положения относительно оценки неопределенности измерений показателей с учетом влияния климатических условий, а также порядка обработки и оформления результатов измерений и правил оценки соответствия показателей качества электрической энергии установленным требованиям.

С вводом в действие [11] завершился переход к новому этапу оценки и контроля качества электрической энергии, основанному на внутренне непротиворечивой системе нормирования и требований к методическому и техническому обеспечению измерения показателей качества электрической энергии (рис. 2.2).

В плане развития системы нормативно-технического и метрологического обеспечения в области качества электрической энергии необходимо совершенствование действующих стандартов и средств измерения с учетом накапливаемого опыта их применения и пересмотра международных стандартов, разработка нормативного доку-

мента, устанавливающего показатели и нормы для сетей напряжением выше 220 кВ, развитие методического обеспечения мониторинга качества электрической энергии. В настоящее время в разработке находится проект ГОСТа 30804.4.30 в редакции, соответствующей IEC 6100004–30:2015. Предполагается также разработка межгосударственных стандартов, идентичных IEC TR 61000–3–6:2008, IEC/TR 61000–3–7:2008, IEC/TR 61000–3–14:2011 [21–23].



Рис. 2.2. Современное нормативно-техническое и метрологическое обеспечение в области измерения и контроля качества электрической энергии.

Анализ и оценка правового регулирования в области качества электрической энергии. Развитие нормативно-технического, метрологического обеспечения в области качества электрической энергии способствует решению задач по обеспечению и управлению качеством электрической энергии, передаваемой потребителям, но не является достаточным.

Главная проблема состоит в несовершенстве правового регулирования в РФ в этой области. Прежде всего, на законодательном уровне не установлены требования к качеству электрической энергии. При этом три документа общедоверального значения содержат положения о необходимости обеспечения требуемого качества электрической энергии и ответственности за него:

- Гражданский кодекс РФ от 30.11.1994 г. № 51–ФЗ;
- Закон РФ от 7.02.1992 г. № 2300–1 «О защите прав потребителей»;
- Федеральный закон РФ от 26.03.2003 № 35–ФЗ «Об электроэнергетике».

Согласно ст. 542 ГК РФ, качество подаваемой энергии должно соответствовать требованиям, установленным в соответствии с законодательством РФ, в том числе с обязательными правилами, или предусмотренным договором энергоснабжения, а в случае нарушения энергоснабжающей организацией требований, предъявляемых к качеству энергии, абонент вправе отказаться от оплаты такой энергии.

Согласно п. 2 ст. 11 Федерального закона «Об электроэнергетике», «целью деятельности системы оперативно-диспетчерского управления в электроэнергетике является обеспечение надежного энергоснабжения и качества электрической энергии, соответствующих требованиям технических регламентов и иным обязательным требованиям, установленным иными нормативными актами». В соответствии с п. 1 ст. 38 «субъекты электроэнергетики, обеспечивающие поставки электрической энергии потребителям электрической энергии, в том числе энергосбытовые организации, гарантирующие поставщики и территориальные сетевые организации (в пределах своей ответственности), отвечают перед потребителями электрической энергии за надежность обеспечения их электрической энергией и ее качество в соответствии с требованиями технических регламентов и иными обязательными требованиями».

Закон «О защите прав потребителей» в ст. 7 устанавливает обязательное подтверждение соответствия товара, в том числе электрической энергии, установленным обязательным требованиям, обеспечивающим его безопасность для жизни, здоровья потребителя, окружающей среды и предотвращение причинения вреда имуществу пот-

ребителя, а также не допускает продажи товара без информации об обязательном подтверждении его соответствия указанным требованиям.

Кроме указанных документов, в ряде других нормативных правовых актов также отмечается необходимость обеспечения качества электрической энергии и ответственности за него:

- Постановление Правительства РФ от 27.12.2004 г. № 861 «Правила недискриминационного доступа к услугам по передаче электрической энергии и оказания этих услуг»;

- Постановление Правительства РФ от 04.05.2012 г. № 442 «О функционировании розничных рынков электрической энергии, полном и (или) частичном ограничении режима потребления электрической энергии».

В частности в п. 15 Постановления Правительства № 861 указывается, что «при исполнении договора сетевая организация обязана:

- а) обеспечить передачу электрической энергии в точке поставки потребителю услуг (потребителя электрической энергии, в интересах которого заключается договор), качество и параметры которой должны соответствовать техническим регламентам с соблюдением величин аварийной и технологической брони» (в ред. Постановления Правительства РФ от 04.05.2012 г. № 442).

В п. 7 разд. 1 Постановления Правительства РФ № 442 указывается, что «субъекты электроэнергетики, обеспечивающие снабжение электрической энергией потребителей, в том числе гарантирующие поставщики, энергосбытовые (энергоснабжающие) организации, сетевые организации, системный оператор и субъекты оперативно-диспетчерского управления в технологически изолированных территориальных электроэнергетических системах, а также производители электрической энергии (мощности), в ходе исполнения своих обязательств по заключаемым ими на оптовом рынке и розничных рынках договорам совместными действиями обеспечивают на розничных рынках надежность снабжения потребителей и качество электрической энергии. Требования к надежности энергоснабжения и качеству электрической энергии устанавливаются в соответствии с законодательством Российской Федерации».

Таким образом, в каждом из приведенных выше законодательно-правовых актов содержатся положения об обязанности субъектов

электроэнергетики обеспечивать выполнение обязательных требований к качеству электрической энергии в сферах своей ответственности. Но на практике они не работают. Почему? Потому что сами обязательные требования к качеству электрической энергии на правовом уровне не установлены.

Отношения, возникающие при разработке, принятии, применении и исполнении обязательных требований к электрической энергии как к продукции и при оценке соответствия, регулируются Федеральным законом от 27.12.2002 г. №184–ФЗ «О техническом регулировании». При этом обязательные для применения и исполнения требования к электрической энергии как к объекту технического регулирования должны быть установлены техническим регламентом о качестве электрической энергии. К сожалению, такой технический регламент в РФ отсутствует.

Единственным правовым документом в области качества электрической энергии является Постановление Правительства РФ от 01.12.2009 г. № 982 «Об утверждении единого перечня продукции, подлежащей обязательной сертификации, и единого перечня продукции, подтверждение соответствия которой осуществляется в форме принятия декларации о соответствии», в котором в список продукции, подлежащей обязательной сертификации включена электрическая энергия в системах электроснабжения общего назначения переменного трехфазного и однофазного тока частотой 50 Гц. В целях его реализации Росстандарт опубликовал «Информацию о продукции, подлежащей обязательному подтверждению соответствия, с указанием нормативных документов, устанавливающих обязательные требования». В документе указаны обязательные требования только к двум из девяти показателей качества электрической энергии: отклонению частоты переменного тока и отклонениям напряжения электропитания согласно п. 4.2.1 и 4.2.2 [9]. Контроль и надзор за их соблюдением осуществляет Росстандарт согласно Постановлению Правительства РФ от 17.06.2004 г. № 294 «О Федеральном агентстве по техническому регулированию и метрологии». Он проводится межрегиональными территориальными управлениями Росстандарта в виде плановых и внеплановых проверок в пределах предоставленных полномочий.

Сводный ежегодный план проверок согласуется в установленном порядке с Генеральной прокуратурой РФ. Сроки проведения до-

кументарных и выездных проверок установлены Федеральным законом от 26.12.2008 г. № 294–ФЗ «О защите прав юридических лиц и индивидуальных предпринимателей при осуществлении государственного контроля (надзора) и муниципального контроля» и не могут превышать 20 рабочих дней, проверки должны проводиться не чаще одного раза в 3 года. Применительно к контролю качества электрической энергии проверка проводится только по двум указанным выше показателям. Внеплановые проверки могут проводиться МТУ Росстандарта только по установленным в Федеральном законе № 294–ФЗ основаниям, к которым относятся:

1) истечение срока исполнения юридическим лицом, индивидуальным предпринимателем ранее выданного предписания об устранении выявленного нарушения обязательных требований;

2) поступление в органы государственного контроля (надзора) обращений и заявлений граждан, юридических лиц, индивидуальных предпринимателей, информации от органов государственной власти, органов местного самоуправления, из средств массовой информации о следующих фактах:

а) возникновение угрозы причинения вреда жизни, здоровью граждан, вреда животным, растениям, окружающей среде, безопасности государства, а также угрозы чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера;

б) причинение вреда жизни, здоровью граждан, вреда животным, растениям, окружающей среде, безопасности государства, а также возникновение чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера;

в) нарушение прав потребителей (в случае обращения граждан, права которых нарушены).

Отсюда следует, что потребитель – физическое лицо при обнаружении несоответствия качества электрической энергии в случае отклонения напряжения и, следовательно, нарушении его прав в соответствии со ст. 18 Закона «О защите прав потребителей» всегда может обратиться с жалобой в МТУ Росстандарта, если его обращение к сбытовой организации как поставщику или к сетевой организации не привело к исправлению положения. Тогда должна быть проведена внеплановая проверка. В обращении в МТУ Росстандарта юридического лица с просьбой о внеплановой проверке по поводу

качества электрической энергии должны присутствовать основания по п. 2а и/или 2б, указанным выше.

Возвращаясь к проблемам правового регулирования в области качества электрической энергии в РФ, нужно иметь в виду, что обеспечение требуемого качества является частью общей задачи обеспечения электромагнитной совместимости в электроэнергетике. Она может быть решена путем регулирования качества электрической энергии и электромагнитной совместимости технических средств, внедрением системы взаимосвязанных правовых документов и стандартов, в которых требования к электромагнитной совместимости технических средств и к качеству электрической энергии согласованы между собой. Правовые документы должны регулировать деятельность изготовителей технических средств и потребителей, приобретающих и использующих их электрическую энергию, а также поставщиков электрической энергии по обеспечению нормального или оптимального функционирования в условиях электромагнитных помех технических средств (энергопринимающих устройств), подключенных к электрическим сетям поставщиков электрической энергии (рис. 2.3).

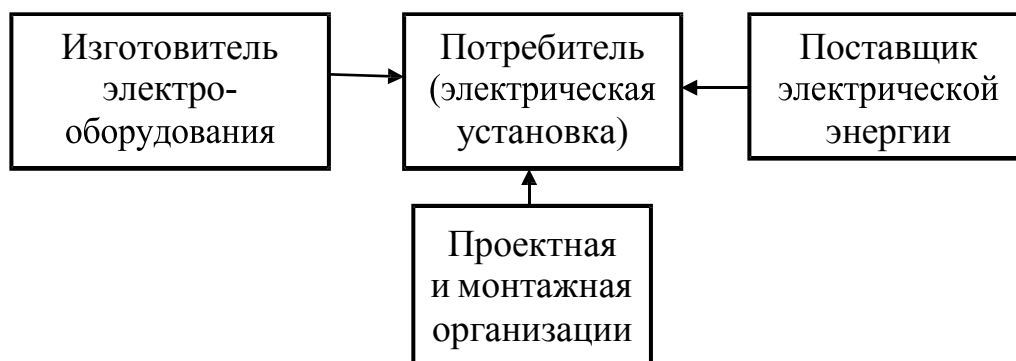


Рис. 2.3. Стороны, участвующие в процессе регулирования качества электрической энергии и электромагнитной совместимости технических средств.

Правовые нормы, относящиеся к изготовителям технических средств, способных ухудшить качество электрической энергии, введены Техническим регламентом Таможенного союза ТР ТС 020/2011 «Электромагнитная совместимость технических средств», который вступил в силу с 15.02.2013 г. Под техническим средством в данном случае понимается компонент, аппарат и установка, т.е. правовые

документы в области электромагнитной совместимости распространяются на электрооборудование и электрические установки. Технический регламент Таможенного союза распространяется на выпускаемые в обращение на единой таможенной территории Таможенного союза технические средства, способные создавать электромагнитные помехи и/или качество функционирования которых зависит от воздействия внешних электромагнитных помех. Он устанавливает требования по электромагнитной совместимости технических средств в целях обеспечения на единой территории Таможенного союза защиты жизни и здоровья человека, имущества, а также предупреждения действий, вводящих в заблуждение потребителей (пользователей) технических средств.

В Техническом регламенте установлены требования к техническим средствам по уровню устойчивости к электромагнитным помехам (помехоустойчивости), обеспечивающему их функционирование в электромагнитной обстановке, для применения в которой они предназначены, а также по ограничению помехоэмиссии по условиям обеспечения электромагнитной совместимости, виды электромагнитных помех, в том числе кондуктивных, типы технических средств, на которые распространяются требования по электромагнитной совместимости, а также правила обращения на рынке, включающие обязательное подтверждение соответствия технических средств установленным требованиям по электромагнитной совместимости. Подтверждение соответствия технических средств осуществляется по схемам, установленным в Техническом регламенте для одних технических средств в форме обязательной сертификации, для других – в форме декларирования. Нормы электромагнитных помех различных видов, в том числе низкочастотных кондуктивных электромагнитных помех, а также методы испытаний и измерений установлены в стандартах, являющихся обязательным приложением к Техническому регламенту. Российские стандарты соответствуют международным и европейским стандартам.

В РФ также введены в действие межгосударственные стандарты по ограничению кондуктивных помех, создаваемых техническими средствами с потребляемым током до 75 А на фазу: эмиссии гармоник токов [24–26], изменений напряжения, колебаний напряжения и фликера [27, 28], вызываемых оборудованием, подключаемым к электрическим сетям в низковольтных системах электроснабжения

общего назначения. Выполнение этих обязательных требований по эмиссии помех и помехоустойчивости должно обеспечиваться на этапе производства соответствующего оборудования. Отметим, что требования гармонизированных международных стандартов по эмиссии гармоник тока не распространяются на технические средства напряжением свыше 1000 В из-за больших различий значений импеданса для сетей среднего и высокого напряжения в разных странах. Требования международных стандартов не распространяются также на низковольтные технические средства с потребляемым током более 75 А на фазу. Требования по ограничению эмиссии гармоник в обоих этих случаях для них должны быть предметом соответствующих национальных правовых документов (технического регламента, сетевого кодекса или правил подключения нелинейных потребителей) с учетом особенностей построения систем электроснабжения.

Технические средства с эмиссией электромагнитных помех, превышающих установленные в стандартах нормы, не должны допускаться на рынок и, соответственно, приобретаться. Таким образом, в РФ приняты меры технического регулирования в отношении изготовителей технических средств, способных ухудшить качество электрической энергии. Они аналогичны мерам, введенным европейской Директивой 2004/108/ЕС от 16.12.2004 г., декларирующей, что электрические распределительные сети должны быть защищены от электромагнитных помех, которые могут также воздействовать на подключаемое оборудование.

В соответствии с положениями Федерального закона от 27.12.2003 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании» электрическая энергия, поставляемая потребителям всех категорий (физическим и юридическим лицам), является объектом установления, применения и исполнения обязательных требований и объектом обязательного подтверждения соответствия. Это связано с опасностью данного вида продукции для жизни и здоровья граждан, имущества физических и юридических лиц, муниципального и государственного имущества и окружающей среды. Качество электрической энергии определяет меру опасности этой продукции для жизни и здоровья граждан, имущества и природной среды. Соответственно, необходима разработка и принятие технического регламента о качестве электрической энергии. В техническом регламенте должны быть уста-

новлены обязательные требования к качеству электрической энергии и формы обязательного подтверждения соответствия этим требованиям.

Положения о качестве электрической энергии, установленные в Федеральном законе «Об электроэнергетике» и в связанных с ним постановлениях Правительства РФ, могут практически применяться только после разработки технического регламента о качестве электрической энергии, предусмотренного указанным законом в п. 2 ст. 28 «Государственное регулирование безопасности в сфере электроэнергетики».

В настоящее время в связи с формированием единого Евразийского экономического союза и обеспечением общего доступа в сфере электроэнергетики разработка единого технического регламента в области качества электрической энергии является давно назревшей задачей. Однако положение с разработкой технического регламента находится в противоречии с достигнутыми результатами в отношении введения в РФ правовых норм, относящихся к изготовителям технических средств, способных ухудшить качество электрической энергии. До сих пор электрическая энергия даже не включена Евразийской экономической комиссией в единый перечень продукции, подлежащей обязательной регламентации.

В части правового регулирования в области качества электрической энергии РФ сильно отстает от других государств. Так, в странах Евросоюза правовое регулирование качества электрической энергии с применением различного уровня нормативных правовых документов (законов, директив, сетевых кодексов, регламентов, постановлений контролирующих органов в области электроэнергетики) включает такие важные положения, как установление обязательных требований к качеству напряжения (качеству электрической энергии) при передаче электрической энергии потребителям, определение ответственности сбытовых и сетевых организаций и потребителей электрической энергии за выполнение указанных требований, организация и проведение мониторинга качества электрической энергии, в том числе непрерывного, и информирование потребителей о качестве электрической энергии, установление требований к потребителям по ограничению эмиссии искажающих токов в электрические сети и др.

При этом обязательные требования, применяемые в странах Евросоюза к качеству напряжения (качеству электрической энергии), соответствуют требованиям стандарта EN 50160:2010 и устанавливаются путем ссылки на его нормы в нормативных правовых документах или непосредственного введения в них норм данного стандарта. В отдельных странах допускаются нормы, отличающиеся для некоторых показателей от установленных в EN 50160:2010. В Великобритании «Регламент о безопасности, качестве и непрерывности электрической энергии» [29] устанавливает допустимые значения изменений частоты и напряжения при передаче сетевыми организациями электрической энергии в установки потребителя или в иные электрические сети.

Кроме того, на основании законодательства стран Евросоюза в большинстве распределительных систем низкого и среднего напряжений проводится мониторинг качества электрической энергии. Системы мониторинга создаются и действуют на уровне сетевых организаций и на национальном уровне. В нескольких странах введены в действие системы непрерывного мониторинга. Одной из основных целей развертывания систем непрерывного мониторинга является создание постоянно функционирующей компьютерной модели национальной энергетической системы, позволяющей управлять режимами и эффективно обеспечивать качество электрической энергии.

В КНР обязательные требования к качеству электрической энергии, поставляемой потребителям, установлены в законодательном акте [30] путем ссылки на национальные стандарты. В [30] отмечено, что электроснабжающие предприятия должны обеспечить соответствие качества электрической энергии, поставляемой потребителям, требованиям стандартов.

Примером создания централизованной территориальной системы мониторинга качества электрической энергии за рубежом является Общациональная система мониторинга качества электрической энергии США и Канады «I-Grid», введенная в действие в середине 2002 г. [31]. Система развернута министерствами энергетики США и Канады в сотрудничестве с ведущими предприятиями. Она рассчитана на установку компактных средств измерения показателей качества электрической энергии более чем в 50 тыс. контрольных точек США и Канады и предназначена для представления информации на локальном и общациональном уровнях.

Помимо проблемы правового регулирования в части установления обязательных требований к качеству электрической энергии в РФ не решены задачи, относящиеся к обеспечению качества электрической энергии при технологическом присоединении энергопринимающих устройств потребителей электрической энергии к электрической сети.

Режимы работы электроустановок с нелинейными характеристиками могут существенно влиять на качество электрической энергии, передаваемой по сетям. В настоящее время существенно выросли объемы техники, в том числе бытовой, с нелинейными вольт-амперными характеристиками, являющейся источниками гармоник токов. Распространяясь по внутренним сетям, приводя ко многим вредным последствиям, а также проникая во внешние распределительные сети, они ухудшают показатели качества электрической энергии в точках поставки/передачи.

Указанные выше стандарты [24–26] устанавливают предельные уровни эмиссии гармоник токов для отдельной единицы оборудования соответствующего вида. Это важно, но в общем случае может оказаться недостаточным для принятия решения о возможности технологического присоединения электроустановки потребителя с несколькими или многими техническими средствами, создающими подобные помехи. Форма напряжения в конкретной сети может сильно отличаться от формы тестового напряжения, которое применяется при проверке допустимого уровня эмиссии. Следовательно, в данном случае допустимый общий уровень эмиссии гармоник нужно еще определить.

Необходимо, чтобы общий уровень эмиссии гармоник тока, создаваемый всеми одновременно работающими нелинейными техническими средствами в электроустановке потребителя, не превышал допустимого, при котором создаваемый уровень гармоник напряжения в сети не превышал бы согласованного уровня электромагнитной совместимости.

В международных стандартах/технических отчетах IEC [21–23] содержатся рекомендации по оценке допустимой эмиссии кондуктивных помех от потребителя во внешнюю сеть, в том числе гармоник токов, для оценки максимально допустимого уровня и определения условий подключения потребителя к сети. Межгосударственные стандарты Таможенного союза на основе указанных международных

стандартов пока не разработаны. Но, как указывалось выше, их разработка в РФ предполагается. Для этого необходима информация от потребителя о составе и характеристиках соответствующего электрооборудования и эмиссии гармоник тока в конкретных случаях, что должно быть предусмотрено на правовом уровне взаимоотношениями сетевой организации и потребителя, чего пока нет.

В РФ действуют «Правила технологического присоединения энергопринимающих устройств потребителей электрической энергии к электрической сети, объектов по производству электрической энергии, а также объектов электросетевого хозяйства, принадлежащих сетевым организациям и иным лицам, к электрическим сетям» [32], утвержденные Постановлением Правительства РФ от 27.12.2004 г. № 861 с учетом Постановления Правительства РФ от 04.05.2012 г. № 442. В постановлениях установлены требования к содержанию и оформлению договоров и технических условий на технологическое присоединение энергопринимающих устройств к электрической сети. Из них следует, что для технологического присоединения энергопринимающих устройств с максимальной мощностью до 100 кВт, а также свыше 100 кВт, но менее 670 кВт в заявке потребителя, как и в технических условиях, не предусмотрено предоставление информации о нелинейных характеристиках оборудования и эмиссии гармоник тока. Получается, что все потребители, имеющие энергопринимающие устройства с указанными мощностями, освобождены от каких-либо обязательств в части ограничения общего уровня эмиссии помех в сеть.

В требования заявки на технологическое присоединение энергопринимающих устройств с максимальной мощностью от 670 кВт и выше включен п. 9з: «заявляемый характер нагрузки (для генераторов – возможная скорость набора или снижения нагрузки) и наличие нагрузок, искажающих форму кривой электрического тока и вызывающих несимметрию напряжения в точках присоединения». Однако указание на наличие искажающих нагрузок еще не есть сведения о характеристиках эмиссии помех, без чего невозможно судить о последующем их влиянии на качество электрической энергии. При этом, согласно п. 11 [32], «сетевая организация не вправе требовать представления сведений и документов, не предусмотренных настоящими Правилами, а заявитель не обязан представлять сведения и документы, не предусмотренные настоящими Правилами».

Следует принимать во внимание также, что значения показателей, характеризующих несинусоидальность, несимметрию и колебания напряжения, зависят не только от уровней искажений, создаваемых электроустановками потребителя, но и от импеданса электрической сети, к которой присоединена электроустановка.

Таким образом, в РФ на текущий момент отсутствует нормативно-правовая база для установления требований к потребителям, влияющим на качество электрической энергии, и позволяющая сетевым организациям корректно определять условия подключения их к электрической сети и соответственно решать проблемы обеспечения качества электрической энергии.

В отсутствие в РФ нормативно-правовых документов, определяющих взаимоотношения сетевых компаний и потребителей по обеспечению требуемых норм качества электрической энергии, полезно учесть опыт стран Евросоюза, в частности Великобритании по условиям технологического присоединения потребителя к электрической сети, определяемым «Кодексом распределительных сетей Великобритании» [33], в котором наряду с задачами, связанными с вопросами технологического присоединения оборудования, установлены и условия/правила подключения потребителя с нелинейными нагрузками. При этом процедура оценки возможности подключения нелинейного оборудования к сети описана в Инженерной рекомендации G5/4–1 [34], на которую опираются правовые документы. В документе установлены уровни планирования суммарных коэффициентов гармоник напряжения и коэффициентов отдельных гармоник для различных уровней напряжения (низкого, среднего, высокого и сверхвысокого) в электрической сети. Эти уровни планирования необходимо использовать сетевой компании и потребителям в процессе технологического присоединения нелинейного оборудования к распределительной сети с учетом уровней электромагнитной совместимости. В документе также изложена методика установления допустимых норм эмиссии гармоник тока от оборудования потребителя. Нормы направлены на ограничение искажений напряжения в распределительной сети до уровней ниже уровней помехоустойчивости, при которых функционирование и рабочие показатели оборудования могут ухудшиться.

По методике [34] согласование присоединения оборудования потребителя, имеющего нелинейную нагрузку, например, к распределительной сети низкого напряжения может происходить по одному из трех вариантов соблюдения соответствующих условий, установленных для применения каждого из них с учетом суммарного тока нагрузки потребителя. При этом приводятся и примеры возможного оборудования.

По первому (упрощенному) варианту присоединение к сети разрешается оператором распределительной сети без оценки уровня эмиссии гармоник тока в следующих случаях:

1) при суммарном токе нагрузки потребителя, не превышающем 16 А на фазу и соответствии каждой единицы оборудования требованиям стандарта BSEN 61000–3–2;

2) если нагрузкой потребителя является один однофазный или один трехфазный преобразователь (выпрямитель) с потребляемым током, не превышающим 16 А на фазу, и предназначенный исключительно для промышленного применения или для ночной зарядки аккумуляторной батареи;

3) при превышении суммарного тока нагрузки потребителя 16 А на фазу и нелинейной нагрузки в виде одной единицы оборудования, удовлетворяющей требованиям стандарта BS EN 61000–3–12, или одного однофазного преобразователя мощностью не более 5 кВА, предназначенного только для промышленного применения, или трехфазного преобразователя мощностью не более 12 кВА.

Если суммарный ток нагрузки потребителя превышает 16 А на фазу и нагрузка не соответствует вышеприведенному третьему случаю упрощенного варианта присоединения, то для принятия решения о возможности присоединения оборудования данного потребителя последний должен предоставить оператору сети данные по гармоникам суммарного тока, потребляемого оборудованием, для анализа и оценки возможности его присоединения. В [34] установлены максимально допустимые среднеквадратические значения гармоник I со 2-й по 50-ю. В качестве примера в табл. 2.2 приведены их значения со 2-й до 20-й гармоники.

Т а б л и ц а 2.2

Максимально допустимые среднеквадратические значения гармоник тока для оборудования с номинальным током >16 А на фазу, А

I_2	I_3	I_4	I_5	I_6	I_7	I_8	I_9	I_{10}	I_{11}	I_{12}	I_{13}	I_{14}	I_{15}	I_{16}	I_{17}	I_{18}	I_{19}	I_{20}
28	48	9	29	3	41	7	10	6	40	1	27	2	1	1	1	13	0,8	9

Если оборудование потребителя им не соответствует, то в [33] предлагается третий возможный вариант. А именно, сетевая компания, получив необходимые данные от потребителя, проводит прогнозный расчет изменений уровней гармоник напряжения с присоединением нелинейной нагрузки путем оценки суммарного коэффициента гармоник и отдельных гармонических составляющих с учетом фактической характеристики импеданса сети в точке общего присоединения. Если окажется, что при данном уровне гармоник тока присоединение потребителя не приведет к превышению планируемого уровня гармоник напряжения, сетевая компания может принять решение о присоединении. В противном случае потребитель должен провести необходимые технические мероприятия по снижению уровня гармоник тока до уровней, приведенных в [34]. Сетевая компания должна принять решение о присоединении только в том случае, если расчет покажет, что при данном уровне эмиссии гармоник тока в сети после подключения потребителя не будет превышен планируемый уровень гармоник напряжения.

В развитии нормативно-технической, методической и метрологической базы для решения задач контроля и управления качеством электрической энергии в РФ достигнуты определенные результаты: разработаны и введены в действие новые стандарты по требованиям к качеству электрической энергии, современным методам измерения показателей, контролю и мониторингу качества электрической энергии. На их основе разработаны новые средства измерения показателей с освоением промышленного выпуска.

Однако в РФ система мер государственного регулирования в отношении субъектов электроэнергетики, влияющих на качество электрической энергии, не имеет в настоящее время законченного характера. Отсутствует нормативно-правовая база для определения необходимых условий технологического присоединения нелиней-

ных потребителей к электрическим распределительным сетям с решением проблем качества электрической энергии и установлением требований к потребителям. В рамках государственного регулирования в электроэнергетике необходимо разграничение прав, обязанностей и ответственности субъектов электроэнергетики и потребителей за поддержание необходимого качества электрической энергии в системе «сетевые организации различного уровня – потребители».

Нужен технический регламент на качество электрической энергии с установлением на правовом уровне обязательных для исполнения требований к качеству электрической энергии, с разработкой правил присоединения нелинейных потребителей с необходимыми методическими указаниями, а также с определением форм и схем оценки соответствия электрической энергии установленным требованиям.

Целесообразно изучение и использование европейского опыта для решения вопросов обеспечения требуемого качества электрической энергии в электрической сети при подключении к ней потребителей с нелинейными нагрузками.

2.3. Проблемы нормативно-правового регулирования в области качества электрической энергии

Согласно Федеральному закону № 184–ФЗ «О техническом регулировании» [35], национальные стандарты в электроэнергетике, в том числе стандарты на качество электрической энергии, переведены в категорию документов добровольного применения. Учитывая, что обязательность выполнения системы государственных стандартов традиционно являлась основой функционирования отрасли, указанный закон способствовал снижению качества электроснабжения потребителей, обусловленному изменением отношения субъектов электроэнергетики к выполнению рекомендательных теперь требований по созданию и эксплуатации электроустановок. В соответствии с указанным законом должен был быть разработан технический регламент «Об электромагнитной совместимости». Специалисты по электроэнергетике полагали, что в регламенте будет отражен и вопрос обеспечения качества электрической энергии, но этого не

произошло. Был разработан и в настоящее время действует технический регламент Таможенного союза «Об электромагнитной совместимости технических средств» [36], в котором о качестве электрической энергии речи не идет, хотя к электромагнитным помехам, создаваемым техническими средствами и воздействующим на технические средства, в указанном документе относятся и помехи, которые передаются по проводам и анализируются при оценке качества напряжения в действующем стандарте на качество электрической энергии [9]. Представляется, что если в качестве помех, которые могут нанести ущерб техническим средствам, рассматриваются помехи, передаваемые по проводам, то было бы логично прежде всего заняться снижением этих помех до уровня, установленного в [9]. О помехах, передаваемых по проводам линий электропередачи, другими словами, о низком качестве электрической энергии, приносящем огромные экономические убытки [37, 38], дискуссия идет на протяжении многих десятилетий, но реальных действенных мер в настоящее время не предпринимается.

Особого внимания заслуживает и распределение по действующему законодательству ответственности за обеспечение нормативного качества электрической энергии между основными субъектами электроэнергетики. На первый взгляд, требования нормативных документов, устанавливающих ответственность субъектов оперативно-диспетчерского управления, сбытовых и сетевых компаний, а также потребителей за обеспечение качества электрической энергии, вполне достаточны.

Во-первых, Федеральным законом № 35–ФЗ «Об электроэнергетике» [39] на субъекты оперативно-диспетчерского управления возложена ответственность за обеспечение качества электрической энергии, соответствующего требованиям технических регламентов и иным обязательным требованиям. Также в данном документе отмечается, что энергосбытовые организации, гарантирующие поставщики и территориальные сетевые организации (в пределах своей ответственности) должны обеспечивать потребителям качество электрической энергии, соответствующее требованиям технических регламентов и иным обязательным требованиям.

Во-вторых, Постановлением Правительства Российской Федерации № 442 «О функционировании розничных рынков электрической энергии, полном и (или) частичном ограничении режима потребления электрической энергии» [40] расширен состав ответственных, а также указывается, что система договоров на рынках электроэнергии является гарантом обеспечения требуемого качества электрической энергии. В соответствии с данным документом:

а) субъекты электроэнергетики, обеспечивающие снабжение электрической энергией потребителей, в том числе гарантирующие поставщики, энергосбытовые (энергоснабжающие) организации, сетевые организации, системный оператор и субъекты оперативно-диспетчерского управления в технологически изолированных территориальных электроэнергетических системах, а также производители электрической энергии (мощности), в ходе исполнения своих обязательств по заключаемым ими на оптовом рынке и розничных рынках договорам совместными действиями обеспечивают на розничных рынках надежность снабжения потребителей и надлежащее качество электрической энергии;

б) существенными условиями договора купли-продажи (поставки) электрической энергии потребителю являются: требования к качеству электрической энергии, ответственность гарантирующего поставщика за нарушение условий поставки, в том числе в части надежности электроснабжения и качества электрической энергии.

В-третьих, Постановление Правительства РФ № 861 «Об утверждении правил недискриминационного доступа к услугам по передаче электрической энергии» [32] обязывает потребителя при исполнении условий договора с электросетевой организацией:

а) поддерживать в надлежащем техническом состоянии принадлежащие ему устройства, обеспечивающие регулирование реактивной мощности, а также иные устройства, необходимые для поддержания требуемых параметров надежности и качества электрической энергии;

б) поддерживать на границе балансовой принадлежности значения показателей качества электрической энергии, обусловленные работой его энергопринимающих устройств, соответствующие техническим регламентам и иным обязательным требованиям, в том числе соблюдать установленные договором значения соотношения потребления активной и реактивной мощности, определяемые для

отдельных энергопринимающих устройств (либо их групп).

В данном постановлении содержатся требования по включению обязательств по обеспечению качества электрической энергии в договоры на передачу электрической энергии и технические условия на присоединение к сети как между сетевой компанией и потребителем, так и между сетевыми компаниями.

При анализе практики применения вышеуказанных законов выясняется следующее. На основании ряда подзаконных актов системный оператор отвечает лишь за единственный показатель – отклонение частоты (Δf). При регулировании уровня напряжения в энергосистемах системный оператор не учитывает требования действующего стандарта по показателям – положительное и отрицательное отклонение напряжения ($\delta U_{(-)}$, $\delta U_{(+)}$) [9], ограничиваясь условиями обеспечения устойчивости в сечениях и узлах нагрузки. С учетом того, что системный оператор управляет ключевыми средствами регулирования режимов ЕЭС, электросетевые компании далеко не всегда самостоятельно могут обеспечить нормативные пределы отклонения напряжения в сетях. Данная проблема подробно рассмотрена в [41].

Несмотря на формальное наличие требований к обеспечению установленных значений соотношения потребления активной и реактивной мощностей, фактически в последние годы произошло разрушение механизма скидок/надбавок к тарифу на электрическую энергию за нарушения режимов потребления реактивной мощности. Это, кроме роста потерь электрической энергии в сетях, приводит и к самоустранению потребителей от участия в регулировании напряжения на границе балансовой принадлежности.

Отсутствие ограничительных норм на генерацию помех искажающими нагрузками не позволяет в разумные сроки решать споры между электросетевыми компаниями и потребителями о причинах нарушения требований [9] по показателям, характеризующим несинусоидальность, несимметрию и колебания напряжения. В результате сбор доказательств негативного влияния на качество электрической энергии одной из сторон растягивается на годы и, нередко, не обходится без судебного разбирательства, что препятствует реализации мероприятий по нормализации качества электрической энергии.

Перевод задачи обеспечения качества электрической энергии исключительно в область договоров между субъектами электроэнергетики и потребителями при текущих структуре электроэнергетики и конструкции рынка электрической энергии в полной мере невозможен. Так между потребителями и системным оператором, между электросетевыми компаниями и системным оператором, а также между электросетевыми и генерирующими компаниями отсутствуют договоры, на основании которых можно было бы предъявлять претензии к неудовлетворительному качеству электрической энергии. Современные правила рынков электрической энергии также не предусматривают возможности применения скидок/надбавок за поставку электрической энергии пониженного/повышенного качества. Предложения по развитию системы договоров для повышения ответственности субъектов рынка электрической энергии за качество электрической энергии при существующей структуре электроэнергетики изложены в [42]. На рис. 2.4 и 2.5 представлены предложения по развитию схемы взаимоотношений субъектов по показателям $\delta U_{(-)}$, $\delta U_{(+)}$ и Δf . Что касается включения в договоры конкретных требований к качеству электрической энергии, то в условиях отсутствия обязательных к применению технических регламентов или заменяющих их законодательно-правовых документов участники рынков электроэнергии, как правило, ограничиваются ссылкой на действующий стандарт [9], имеющий рекомендательный статус. В то же время основательная попытка включения требований к качеству электрической энергии в договоры была сделана в 90-х годах прошлого века, когда были разработаны и начали действовать «Правила присоединения потребителей к сети общего назначения по условиям влияния на качество электроэнергии» [43] и «Правила применения скидок и надбавок к тарифам за качество электроэнергии» [44]. Опыт прошлых лет, представленный в названных документах, нужно изучить и использовать для управления качеством электрической энергии в настоящее время с учетом реальной ситуации.

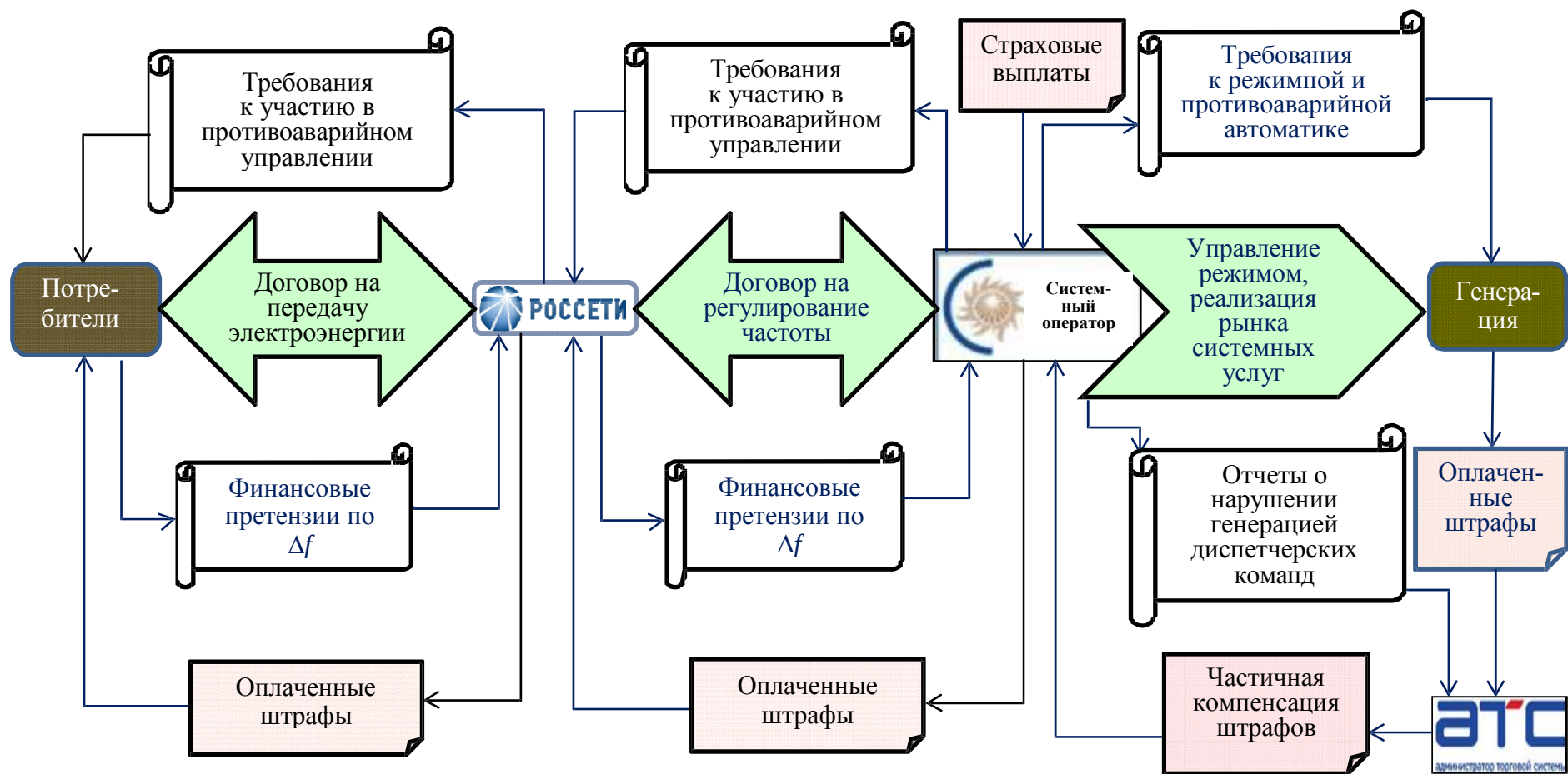


Рис. 2.4. Система обеспечения ответственности за отклонение частоты.

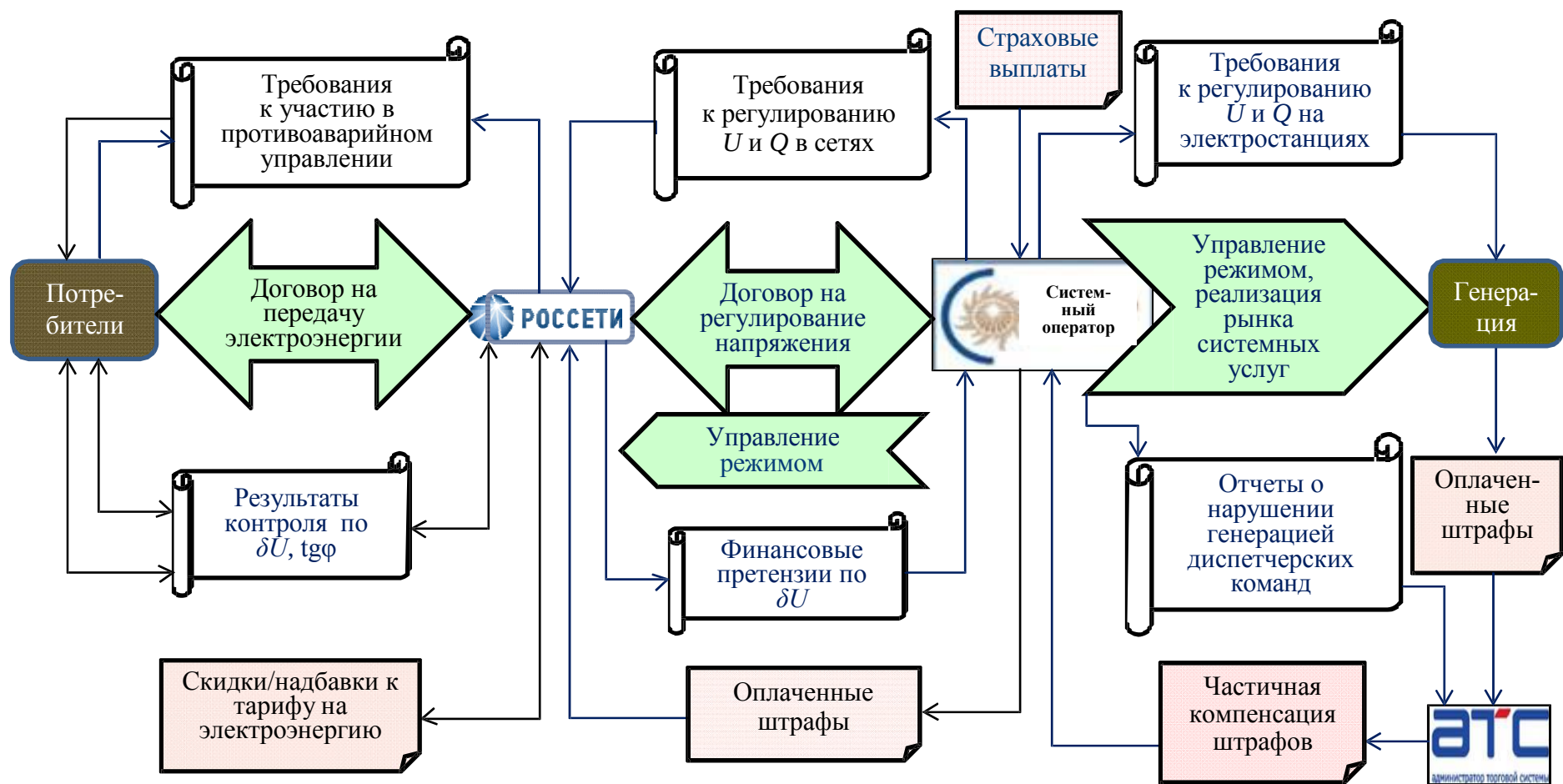


Рис. 2.5. Система обеспечения ответственности за отклонения напряжения.

Следует отметить и отсутствие в законодательно-правовой базе требований к организации непрерывного контроля показателей качества электрической энергии на границах балансовой принадлежности. В последнее время повсеместно наблюдаются ситуации, при которых одна из сторон (потребитель, энергосбытовая или электросетевая компания), имея проблемы из-за низкого качества электрической энергии, готова установить за свой счет в точке передачи электроэнергии стационарные средства измерения показателей качества электрической энергии с целью выявления проблем и последующего взаимодействия, направленного на повышение качества электрической энергии. Другая сторона, опасаясь роста числа обоснованных претензий к качеству электрической энергии, категорически против этого, ссылаясь на отсутствие обязательных законодательно-правовых оснований.

В качестве вывода следует указать, что развитие нормативно-правовой базы в первую очередь должно быть направлено на повышение мотивации субъектов электроэнергетики реализовывать мероприятия по обеспечению качества электрической энергии, а также на усиление ответственности потребителей за искажения, генерируемые в сеть.

2.4. Качество – неотъемлемая характеристика электрической энергии как товара на рынке электрической энергии

Проблема обеспечения надлежащего качества электрической энергии в нашей стране является очень актуальной и острой уже много лет. Анализ публикаций по этому вопросу [45, 46] показывает, что большинство показателей качества электрической энергии превышает нормативные значения, указанные в [9].

В 2016 г. исполнилось 15 лет Постановлению Правительства РФ от 11.07.2001 г. № 526 «О реформировании электроэнергетики Российской Федерации» [47] и 13 лет Федеральному закону РФ от 26.03.2003 г. № 35–ФЗ «Об электроэнергетике» [39], которые задали направление реформированию и развитию ЕЭС России. Но все нарастающая по интенсивности дискуссия по итогам 15-летнего периода реформ и развития единой энергетической системы свиде-

тельствует о том, что основные заявленные цели реформирования электроэнергетики все еще не достигнуты. При правильных исходных предпосылках о необходимости реформ, а этого практически никто не оспаривает, так как с 1992 г. вся экономика страны начала радикально меняться по сравнению с советским периодом, многие методы и средства реформирования были выбраны неверно. Взяв за основу пути реформирования некоторых зарубежных стран, «проводники реформ» не учли особенности и опыт этих государств, а также особенности России и предыдущий успешный опыт функционирования и развития электроэнергетики СССР. Электроэнергетика из инфраструктурной отрасли, как это было в Советском Союзе, стала превращаться в отраслевую, а также что еще хуже, во многих случаях в придаток крупных предприятий, когда основные электростанции работают прежде всего для нужд этих предприятий, имеющих льготные условия оплаты потребленной электроэнергии, например ГЭС ПАО «Иркутскэнерго» («ЕвроСибЭнерго») и алюминиевые заводы.

Наша страна по многим позициям вернулась на 15 лет назад и надо многое начинать сначала: договариваться по основополагающим концептуальным положениям, разрабатывать или вносить существенные изменения в федеральное и региональное законодательство, пересматривать стратегии, планы и т.д. Эти утверждения автора данного раздела и многих известных специалистов подтверждаются тем, что за последние 3–4 года проводилось и проводится большое количество различных мероприятий (круглые столы, совещания, конференции и т.д.) самого разного уровня, как по составу участников, так и организаторов, посвященных проблемам электро энергетики. На этих встречах обсуждаются не только конкретные проблемы электроэнергетического комплекса (вопросы надежности, проблема потерь электроэнергии, «умные сети» и т.д.), но и проблемы концептуального характера. Состав участников иногда бывает чрезвычайно представительным: депутаты Федерального Собрания, представители министерств и ведомств (Минэнерго, ФАС, Минэкономразвития и т.д.), крупнейших энергетических компаний и потребителей, научно-исследовательских, включая Российскую академию наук, и проектных организаций. Кроме того проблемы отечественной электроэнергетики в последние годы обсуждаются не только в научно-технических изданиях, но и в периодической печати. При

этом аргументировано, как кажется авторам публикаций, излагаются часто совершенно противоположные мнения:

- глобальный вопрос «нужна/не нужна была реформа электроэнергетики»;
- нужна/не нужна конкуренция в энергетике, а если «да», то в каких формах и в каких сегментах электроэнергетики;
- благо или вред «альтернативная котельная»;
- нужны/не нужны единая теплоснабжающая организация и единая электросетевая компания в регионах страны и т.д.

И таких проблем огромное количество. Поток документов, конкретизирующих и уточняющих нормативно-правовую базу, не затрагивающую основные положения существующей концепции реформирования электроэнергетики, не иссякает.

Особо следует отметить, что мы, принимая участие во многих подобных совещаниях, никогда не слышали, чтобы отмечалась острота проблемы обеспечения качества электрической энергии в комплексном виде. Как правило, выступающие ограничивались обсуждением уровня напряжения, т.е. его отклонения от нормативных показателей, и потерь электрической энергии в распределительных сетях.

На фоне 15-летних концептуальных и стратегических поисков путей функционирования и развития электроэнергетики, проблема качества электрической энергии и связанной с ней электромагнитной совместимости во всем ее многообразии, начиная от нормативно-правовой базы, научно-методических подходов и заканчивая приборным парком и даже созданием в крупных электросетевых компаниях систем управления качеством электрической энергии, по нашему мнению, находилась и находится как бы вне общих проблем электроэнергетики. Конечно, такие признанные авторитеты в области качества электрической энергии, как Ю.С. Железко, В.Н. Никифорова и др., детально рассматривали нормативно-технические документы и проблемы правового регулирования качества электрической энергии. Но как эти вопросы вписываются и решаются в рамках концепции реформирования электроэнергетики России и ее перехода к рыночным отношениям? Можно утверждать, что они пока остаются не проработанными. Разумеется, можно объяснить такую ситуацию следующим. Концепция реформирования в последнее время подвергается серьезной и обоснованной критике. Рынок электроэнергии не дал

ожидаемых результатов. Розничный рынок электроэнергии фактически не сформирован и его очередная концепция, включая тарифообразование, только разрабатывается, поэтому нет необходимости форсировать увязку проблемы качества электрической энергии с рыночными отношениями. Такой подход имеет право на существование, но более чем 30-летний период существования проблемы качества электрической энергии, включая как в Советском Союзе, так и в Российской Федерации, позволяет и даже требует вписать решение неисчезнувших проблем обеспечения качества электрической энергии в имеющуюся и, возможно, в модернизированную модель электроэнергетики России.

При этом будем исходить из установленного в Гражданском кодексе РФ [1] определения электрической энергии как товара, который должен быть требуемого качества и за который необходимо платить, хотя некоторые специалисты [48], например, даже ставят под сомнение справедливость утверждения, что «электроэнергия – это товар».

Прежде всего возникает естественный вопрос: если проблема качества электрической энергии существует, то для кого важно решение этой проблемы с точки зрения ее остроты? Возможны следующие ответы:

- для государства (под которым понимаются органы власти) как гаранта конституционных прав и выполнения требований законов и норм;
- электроэнергетических компаний, прежде всего для электросетевых, к которым подключены потребители;
- потребителей.

Ответ для научно-технического сообщества очевиден – для всех. Итак, рассмотрим роль государства. Предыдущий не очень эффективный многолетний опыт решения проблем качества электрической энергии в стране позволяет утверждать, что если государство и не самоустранилось, то на официальном уровне, по нашему мнению, это происходит в виде вяло текущего процесса. В связи с этим также возникает другой немаловажный вопрос. Почему старые стандарты, разработанные до реформы электроэнергетики, и новые национальные и межгосударственные стандарты, в том числе стандарты по качеству электрической энергии, как документы для исполнения практически не выполняются в России, хотя для этого существуют надзорные органы, такие как прокуратура, Ростехнадзор и т.д.? Ка-

ковы причины подобного отношения к качеству электрической энергии? Ответы, по нашему мнению, могут быть следующими:

1. Плохая или недостаточная нормативно-правовая база. Стандарты, касающиеся качества электрической энергии, являются документами необязательными для исполнения: нужен технический регламент по качеству электрической энергии в соответствии с Федеральным законом «О техническом регулировании» [35].

2. В существующей нормативно-правовой базе нет четкого финансово-экономического механизма регулирования отношений, связанных с качеством электрической энергии, особенно в части применения скидок и надбавок к тарифам в случаях отклонения показателей качества электрической энергии от нормативных значений.

3. До сих пор нет корректной и утвержденной методики выявления нарушителей качества электрической энергии для определения их долевого вклада в суммарные искажения с соответствующими финансовыми последствиями в случаях, когда имеется несколько искажающих качество электрической энергии источников, так как метод «включения – отключения» потребителя от электрической сети [43] очень часто не работает.

4. Нормативно-правовая база достаточна, но правоприменительная практика в России в части качества электрической энергии оставляет желать лучшего.

5. В стране огромное количество других более сложных проблем, поэтому проблемы качества электрической энергии практически не рассматриваются на официальном уровне?

Анализ сформулированных выше пяти причин недолжного отношения к проблеме качества электрической энергии показывает, что все они имеют разную степень остроты.

В России более чем на 10 лет затянулся процесс разработки и утверждения технического регламента в области качества электрической энергии. Его до сих пор нет! Положительным моментом можно считать то, что государственные органы приняли решение, согласно которому наряду с техническими регламентами должны быть и соответствующие государственные стандарты. Уже в течение многих лет идет обсуждение различных методических подходов к определению долевого вклада искажающего потребителя в суммарные искажения.

Но тщательно проработанной, прошедшей детальное обсуждение в научно-техническом сообществе и тем более утвержденной методики нет. В развитых рыночных отношениях вопрос «За что и сколько платить?» всегда основной, и без строгих утвержденных нормативно-правовых документов, регулирующих правовые и финансовые отношения субъектов рынка в части качества электрической энергии, он не может быть решен положительно. При этом процесс арбитражных разборок в случаях обращения в суд пострадавшей стороны по причине низкого качества электрической энергии неизбежен. Практически также не проработан вопрос о финансовой компенсации за низкое качество электрической энергии, когда в ходе судопроизводства требуется доказать реальный ущерб, причиненный потребителю. Если что-то сгорело из-за резких изменений напряжения или были ложные срабатывания (отключения) каких-либо устройств, то тщательный сбор информации и ее анализ по конкретному случаю еще позволяют доказать реальный ущерб. Но как доказать, например, что срок годности высоковольтного кабеля из-за низкого качества электрической энергии сократится на несколько лет и в какой-то момент он выйдет из строя? А при наступлении аварийного случая практически гарантировано, что никто не будет заниматься ретроспективной эксплуатации этого оборудования и выяснять причины повреждений.

Из представленных выше пяти причин, по нашему мнению, в настоящее время важнейшей, все-таки является пятая. Это утверждение обосновано следующим. Начиная с 2010 г., как уже отмечалось выше, критика принятой стратегии функционирования и развития электроэнергетики, ее реформирование и создание оптового и розничного рынков электрической энергии и мощности не ослабевают. Научно-техническое сообщество ведущих ученых и практиков-энергетиков постоянно вносит очевидные и просто необходимые уже сейчас предложения по изменению или хотя бы корректировке некоторых разделов стратегии развития и реформирования электроэнергетики в России, которые не принесли ожидаемых авторами реформ результатов: неограниченный рост тарифов не остановлен, значительных инвестиционных потоков в энергетику не наблюдается, рыночные отношения дали огромные преимущества одним субъектам рынка за счет других и т.д. Какова же реакция государства на эту ситуацию? Очередные обещания пересмотреть концепцию, стратегию, модели рынка, тарифную

политику и т.д. Но в то же время проводятся непринципиальные корректировки существующих нормативно-правовых документов. Складывается впечатление, что никто ничего не хочет ломать, практически полностью игнорируя предлагаемые обоснованные мероприятия, даже если 15-летний опыт функционирования и развития электроэнергетики в значительной мере отрицательный.

Нечто подобное происходит и с проблемой обеспечения качества электрической энергии. Вероятно, государство отложило решение этих проблем «на потом», так как электрическая энергия в домах не исчезла, не видно массовых протестных настроений населения из-за ее низкого качества, юридические лица также не утверждают, что низкое качество электрической энергии влияет на показатели их деятельности и т.д. Государственные органы начинают как-то реагировать, только если отдельные, наиболее активные потребители предпринимают попытки отстаивать свои права. При этом даже принятые положительные решения носят частный характер, но не решают проблему в целом. При таком подходе государственных структур рыночные отношения в электроэнергетике, где электрическая энергия является товаром, будут долго оставаться некорректными.

Рассмотрим теперь степень важности решения проблем с качеством электрической энергии для электросетевых компаний и потребителей электрической энергии, подключенных к их сетям. При этом нужно учитывать, что электрические сети являются технологической основой ОРЭМ и РРЭМ, так как без электрических сетей в принципе не может быть рынка электрической энергии, а электросетевые компании и потребители – субъекты этого рынка.

Следует подчеркнуть, что проблема качества электрической энергии для электросетевых компаний имеет две основные составляющие:

- нарушения в работе электросетевого комплекса из-за негативного влияния качества электрической энергии на его функционирование ввиду старения изоляции, ложного срабатывания систем релейной защиты и автоматики, выхода из строя отдельных элементов и т.д.;

- техническая и, как следствие, юридическая и финансовая ответственность перед потребителями электрической энергии, подключенными к электрическим сетям, при этом в подавляющем большинстве случаев это субсидиарная ответственность с энерго-сбытовыми организациями, которые заключают договоры электро-

снабжения с учетом качества электрической энергии, но являются при этом чисто финансово-экономическими структурами.

В настоящее время наибольшее значение имеет вторая составляющая, так как при арбитражных разбирательствах, доведенных до судебных решений между субъектами рынка, исправлять ситуацию с качеством электрической энергии приходится именно электросетевым компаниям, несущим существенные финансовые затраты. Это одна из важнейших причин того, что некоторые МРСК стали активно создавать не просто отдельные программы по анализу и принятию решений по качеству электрической энергии, а целые системы управления качеством электрической энергии, например как «МРСК Волги».

Ситуация с ролью и местом потребителей как субъектов рынка электрической энергии в области качества за последние годы не изменилась. Необходимо, чтобы потребитель получал электрическую энергию в нужном объеме и требуемого качества и сам не вносил искажения в питающую электрическую сеть. Ранее существовавшая нормативно-техническая база, прежде всего [7], и разработки последних лет во многих случаях могли бы и могут урегулировать спорные случаи, связанные с качеством электрической энергии, кроме корректной оценки долевого вклада потребителя в искажение и определения ущерба по причине низкого качества электрической энергии. Важно отметить, что крупные потребители как игроки на рынке электрической энергии, например ОАО «РЖД», БАЗЭЛ «Базовый элемент» и др., оказывают давление на функционирование рынка, что практически не пресекается государством, так как упомянутые отрасли относятся к базовым. Еще один пример. До появления нового собственника алюминиевых заводов в Иркутской области и ПАО «Иркутсэнерго» в лице БАЗЭЛ в 2001 г. региональное управление Госэнергонадзора по Иркутской области регулярно один раз в квартал осуществляло проверки показателей качества электрической энергии на двух алюминиевых заводах, а именно, на Иркутском алюминиевом заводе в г. Шелехов и на Братском алюминиевом заводе в г. Братск. По результатам проверки выписывались надбавки

к тарифу на электрическую энергию на основании действующей в то время методики [44]. Так как отклонения от нормативных значений показателей качества электрической энергии по суммарному коэффициенту гармоник напряжения и коэффициентам гармонических составляющих напряжения на практике были всегда, то выдвигаемые финансовые претензии заводам достигали десятков миллионов рублей. Реально эти штрафные санкции не были реализованы, а использовались как некоторый нажим для получения хотя бы оплаты за потребленную электрическую энергию, так как платежная дисциплина в те годы была крайне низкой. С приходом «БАЗЭЛа» фактически единого владельца алюминиевых заводов и ПАО «Иркутскэнерго» ситуация мгновенно изменилась. Практически были прекращены регулярные замеры показателей качества электрической энергии, тем более не стали выдвигаться никакие финансовые претензии. Не будешь же сам себе штраф выписывать! Эта ситуация сохраняется и в настоящее время, хотя владельцы алюминиевых заводов проводят некоторые мероприятия по улучшению качества электрической энергии, например, установили несколько фильтрокомпенсирующих устройств, увеличили пульсность выпрямительных преобразователей, но их объем явно недостаточен. В такой ситуации трудно объяснить слабую позицию по этой проблеме уже давно самостоятельного Энергонадзора, находящегося вне энергокомпаний с 1998 г. Хотя после ликвидации Энергонадзора, как самостоятельной структуры при Минэнерго РФ и его слияния с Ростехнадзором роль энергетического надзора, являвшегося ранее очень мощной и значимой структурой, в настоящее время минимальна. А это еще раз подчеркивает, какую роль играют государственные структуры в проблеме обеспечения качества электрической энергии. И как было сказано выше: «Проблема есть, но ее комплексное решение откладываем до лучших времен». Но даже в рыночных условиях роль государства не исчезает, а усиливается с точки зрения формирования необходимой нормативно-правовой базы, ее внедрения и контроля исполнения. Это общепринятая практика в развитых государствах. И Ростехнадзор с его электроэнергетическими структурами вместе с прокуратурой могли бы и должны быть проводниками государственной политики по проблеме качества электрической энергии как одного из компонентов всего комплекса задач в электроэнергетике.

«Священных коров» среди субъектов рынка электрической энергии не должно быть. Исполнение законодательной базы должно быть обязательным для всех.

Остаются еще вопросы, на которые нет однозначного ответа. Например, в существующих и предполагаемых моделях оптового и розничного рынков электрической энергии и мощности не учитывается вопрос качества электрической энергии. Главное в них – продажа (поставка) электрической энергии и ее оплата. Нужно или нет вносить какие-либо дополнения в законодательную базу концепций ОРЭМ и РРЭМ, Федеральный закон «Об электроэнергетике» [39] и т.д., касающиеся качества электрической энергии или записи в договоре энергоснабжения о поставке электрической энергии в необходимом объеме и требуемого качества достаточно? Если строго выполнять требования существующей нормативно-правовой базы, а также недостающей, которую еще нужно разработать с участием всех субъектов рынка электрической энергии и не выполнение которой грозит неотвратимыми финансовыми потерями для нарушителей качества электрической энергии, то представляется, что вносить что-либо дополнительное в модели ОРЭМ и РРЭМ нецелесообразно. Следует отметить, что для себя автор этого раздела еще не принял окончательного решения. При этом необходимо помнить, что, например, правила функционирования ОРЭМ требуют безусловной оплаты электрической энергии и мощности, а в случае появившейся задолженности должник лишается права работы на ОРЭМ. К сожалению, чаще всего это только декларативное заявление. Задолженности по оплате на ОРЭМ в настоящее время достигают миллиардов рублей.

Сейчас большинство договоров энергоснабжения на РРЭМ реализуется через посреднические торговые структуры, такие как гарантирующие поставщики и независимые энергосбытовые компании, которые не могут влиять на качество электрической энергии. В случае жалоб потребителей они привлекают электросетевые компании, к которым подключены потребители, что затягивает процесс решения проблемы и вызывает многочисленные разногласия. Лучшим выходом из подобной ситуации является разрешение, исходя из экономической и технологической целесообразности, электросетевым компаниям совмещать деятельность по передаче электрической энергии по сетям и энергосбытовую деятельность. В этом случае электросетевая компания будет напрямую взаимодействовать с по-

требителем электрической энергии по всему комплексу вопросов, включая качество электрической энергии. Это предложение находит многочисленных сторонников, в том числе оно было положительно воспринято в Комитете Государственной Думы по энергетике и теперь требует внесения соответствующих изменений и дополнений в [39] и [40]. Однако подобное предложение противоречит концепции реформирования электроэнергетики в России, поэтому Минэнерго РФ не поддерживает эту инициативу. Федеральный закон [39] требует, чтобы процесс энергоснабжения был разделен на конкурентные (генерация электрической энергии и ее сбыт) и регулируемые (естественно монопольные – передача электрической энергии по сетям) виды деятельности. Даже если будет принято решение, разрешающее совмещать передачу электрической энергии и ее сбыт, что маловероятно, то, учитывая практику прохождения важных законодательных актов от момента внесения предложения до изменения закона, этот процесс может затянуться на годы, а рынок электрической энергии будет продолжать функционировать с огромным количеством проблем.

Качество электрической энергии было и остается важной составляющей процесса электроснабжения, так как оно влияет на функционирование и потребителей, и энергокомпаний в техническом и финансовом аспектах. Существующая и предполагаемая к корректировке модель рынка электрической энергии, вероятно, не требует внесения каких-либо принципиальных положений, относящихся к проблемам качества электрической энергии. Развитые рыночные отношения в электроэнергетике, когда электрическая энергия рассматривается в качестве товара, требуют безусловного выполнения всеми субъектами рынка требований имеющейся нормативно-правовой базы, а также разработки и утверждения в кратчайшие сроки недостающих важнейших документов. К ним следует отнести в первую очередь:

- 1) определение долевого вклада отдельных искажающих источников в суммарные искажения;
- 2) оценку реального ущерба в денежном выражении, вызванного электрической энергией низкого качества.

Эти два нормативно-правовых акта (методики) должны предоставить корректную основу технологических и финансовых взаимоотношений субъектов рынка электрической энергии. Все перечис-

ленное может дать реальный эффект, только если государственные структуры будут рассматривать проблему обеспечения надлежащего качества электрической энергии и ее решение как обязательный компонент рыночных отношений в электроэнергетике.

ГЛАВА 3. ОБЯЗАТЕЛЬНАЯ СЕРТИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Обеспечение предприятий промышленности, транспорта и населения качественной электрической энергией всегда было и остается сложнейшей научно-технической задачей, степень сложности которой увеличивается с ростом экономики и увеличением потребления электрической энергии.

Реформирование электроэнергетики, становление рыночных отношений на постсоветском экономическом пространстве коренным образом изменило систему взаимоотношений между субъектами электроэнергетики – потребителями, сетевыми, энергосбытовыми и другими организациями – и привело к необходимости государственного регулирования и контроля деятельности в области обеспечения надлежащего качества электрической энергии.

Электрическая энергия, поставляемая сетевыми организациями – субъектами рынка электрической энергии абонентам (потребителям), выступает как товар, который при его использовании может быть опасным для жизни и здоровья потребителей и может причинить вред их имуществу и окружающей среде.

В 1992 г. Закон РФ «О защите прав потребителей» [1] установил обязательность сертификации безопасности товаров народного потребления. В 2002 г. был принят Федеральный закон «О техническом регулировании» [2], который вывел понятие сертификации на качественно иной уровень. В [2] сертификация определяется как «форма осуществляемого органом по сертификации подтверждения соответствия объектов требованиям технических регламентов, положениям стандартов, сводов правил или условиям договоров».

Цели сертификации формулируются в ст. 18 Федерального закона «О техническом регулировании» [2], среди них:

- защита потребителя от недобросовестности изготовителя (продавца, исполнителя);

- контроль безопасности продукции (услуги, работы) для окружающей среды, жизни, здоровья и имущества и др.

Система нормативно-правового регулирования сертификации

электрической энергии включает:

- Федеральный закон РФ от 27.12.2002 г. № 184–ФЗ «О техническом регулировании» [2];

- Федеральный закон РФ от 26.03.2003 г. № 35–ФЗ «Об электроэнергетике» [3];

- Постановление Правительства РФ от 04.05.2012 г. № 442 «О функционировании розничных рынков электрической энергии, полном и (или) частичном ограничении режима потребления электрической энергии» [4];

- Постановление Правительства РФ от 01.12.2009 г. № 982 «Об утверждении единого перечня продукции, подлежащей обязательной сертификации, и единого перечня продукции, подтверждение соответствия которой осуществляется в форме принятия декларации о соответствии» [5];

- Постановление Госстандарта РФ от 16.07.1999 г. № 36 «О правилах проведения сертификации электрооборудования» [6];

- ГОСТ 32144–2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения [7].

В п. 3 ст. 46 Федерального закона «О защите прав потребителей» [1] предусматривается, что «перечень продукции и услуг, подлежащих обязательной сертификации, устанавливается Правительством Российской Федерации». Указывается, что «обязательной сертификации подлежит электрическая энергия в электрических сетях общего назначения переменного трехфазного и однофазного тока частотой 50 Гц». Из этого документа можно сделать вывод, что сертификации подлежит вся, отпускаемая потребителям электрическая энергия. Но из Постановления Госстандарта РФ [6] следует, что «обязательной сертификации подлежит электрическая энергия, предназначенная для приобретения и использования гражданами исключительно для личных, семейных, домашних и иных нужд, не связанных с осуществлением предпринимательской деятельности».

С целью упрощения организации работ по обязательной сертификации электрической энергии постановлением Росстандарта число подтверждаемых показателей качества электрической энергии уменьшено до двух из девяти в ГОСТе 32144–2013 [7]. Электрическая энергия для бытовых потребителей сертифицируется по следующим показателям:

- отрицательное ($\delta U_{(-)}$) и положительное ($\delta U_{(+)}$) отклонения

напряжения;

- отклонение частоты (Δf).

Отклонение частоты – это системный показатель качества электрической энергии, который поддерживается средствами регулирования частоты и мощности на электрических станциях. В настоящее время соответствие отклонений частоты установленным требованиям соблюдается в ЕНЭС РФ даже жестче, чем требования [7]. Подтверждение соответствия по данному показателю для сетей, технологически связанных с сетями ЕНЭС, является чисто формальным, поэтому никаких мероприятий по его улучшению не требуется. Как правило, межрегиональные и территориальные сетевые компании, осуществляющие поставку электрической энергии бытовым потребителям, не имеют на своем балансе генерирующих установок, способных влиять на частоту подаваемой электрической энергии. Таким образом, сертификация электрической энергии на практике осуществляется по показателям $\delta U_{(-)}$ и $\delta U_{(+)}$ в точке передачи электрической энергии согласно [7]. Для указанных показателей установлены следующие нормы: величины $\delta U_{(-)}$ и $\delta U_{(+)}$ в точке передачи электрической энергии не должны превышать 10 % номинального или согласованного значения напряжения в течение 100 % времени интервала в одну неделю.

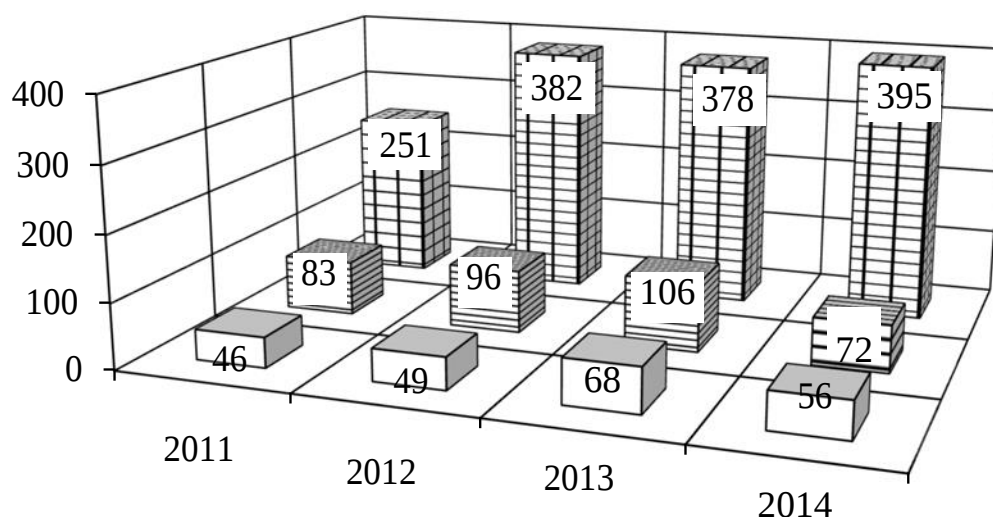
Обязательные требования к электрической энергии как к продукции, представляющей потенциальную опасность, предполагалось установить в общем техническом регламенте «Об электромагнитной совместимости» [2], но его принятие было отложено. В соответствии с п. 7 Федерального закона «О техническом регулировании» [2] обязательные требования к продукции, установленные нормативными правовыми актами РФ и нормативными документами федеральных органов исполнительной власти (для электрической энергии – в ГОСТе 32144–2013 [7]), «будут действовать впредь до принятия соответствующего регламента, т.е. без ограничения срока». Ответственность за реализацию электрической энергии без сертификатов установлена в:

- п. 5 ст. 4 и п. 4 ст. 7 Федерального закона «О защите прав потребителей» [1], запрещающих реализацию продукции, подлежащей обязательной сертификации, без соответствующих сертификатов;

- ст. 14.4 Кодекса РФ «Об административных правонарушениях» [8], устанавливающей административную ответственность за реализацию продукции, подлежащей обязательной сертификации

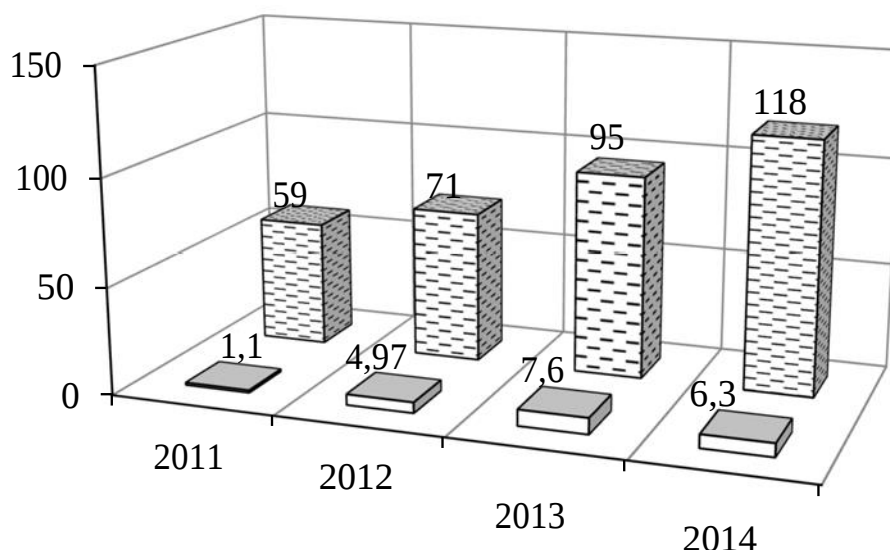
без соответствующих сертификатов.

В соответствии с Федеральным законом «Об электроэнергетике» [3] «субъекты электроэнергетики, обеспечивающие поставки электрической энергии потребителям, в том числе энергосбытовые организации, гарантирующие поставщики и территориальные сетевые организации (в пределах своей ответственности), отвечают перед потребителями за надежность обеспечения их электрической энергии и ее качество в соответствии с техническими регламентами и иными обязательными требованиями». О соблюдении требований стандарта к качеству электрической энергии в точке передачи электрической энергии можно судить по результатам контроля независимых уполномоченных органов: межрегиональных территориальных управлений Росстандарта и аккредитованных органов по сертификации электрической энергии. На сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии (<http://www.gost.ru>) в разделе «Государственный контроль и надзор» ежегодно публикуются сводные доклады о результатах контроля (надзора) за соблюдением обязательных требований к продукции. Диаграммы, отражающие результаты государственного контроля продукции «электрическая энергия» с 2011 по 2014 гг., представлены на рис. 3.1 и 3.2.



- Нарушения в области сертификации
- ▤ Несоответствие показателей качества электроэнергии
- ▣ Количество проверок качества электроэнергии за год

Рис. 3.1. Результаты государственного контроля (надзора) продукции «электрическая энергия» в форме проверки предприятий, осуществляющих транспортировку (продажу) электрической энергии.



□ Сумма штрафов, млн. руб.

▣ Количество постановлений о наложении штрафов

Рис. 3.2. Результаты государственного контроля (надзора) продукции «электрическая энергия» в форме наложения штрафных санкций.

В докладе за 2014 г. в разд. 4.2.4. «Государственный контроль (надзор) за соблюдением обязательных требований к электрической энергии» отмечается, что «за отчетный период проведено 395 проверок предприятий, осуществляющих транспортировку (продажу) электрической энергии, нарушения обязательных требований выявлены в результате 126 проверок, что составляет 32 %, из них:

- 72 проверки (57 % от общего количества проверок) с нарушениями, выявленными по результатам испытаний продукции как несоответствие показателей качества электрической энергии;

- 56 проверок (44 % от общего количества проверок) с нарушениями в области обязательного подтверждения соответствия»;

- «основным выявленным нарушением показателей качества электрической энергии являлось: несоответствие по установившемуся отклонению напряжения», также были отмечены несоответствия по следующим показателям: доза фликера, суммарный коэффициент гармоник и коэффициенты по несимметрии напряжения.

О соблюдении требований стандарта к диапазонам отклонений напряжения в точке передачи электрической энергии можно судить также по результатам сертификационных измерений независимых испытательных лабораторий. Испытательной лабораторией по каче-

ству электрической энергии АНО «ЭлектроСертификация» в 2014 г. выполнены измерения в 26 сетевых организациях («МРСК Центра», «МРСК Северного Кавказа», ОАО «Сетевая компания» Республики Татарстан, Иркутской электросетевой компании и др.). Общее количество пунктов контроля в сетях 0,4; 6 и 10 кВ составило 1173, следовательно, было проанализировано 1173 протокола измерений, каждый продолжительностью 7 суток.

Конкретные результаты работы рассмотрены на примере территориальной сетевой организации ООО «АЭС Инвест». Территориальная сетевая компания «АЭС Инвест» является одной из крупнейших сетевых организаций на территории Челябинской области. Она осуществляет передачу электрической энергии по сетям напряжением 0,4–35 кВ. В зоне ответственности организации находятся более 4895 км кабельных и воздушных линий электропередачи и 1618 трансформаторных подстанций общей установленной мощностью более 718,05 МВА. В структуру предприятия входят семь районных электрических сетей, к которым присоединены более 212 тыс. потребителей в 26 городах (Кыштым, Касли, Карабаш, Нязепетровск и др.) и населенных пунктах.

Испытательной лабораторией по качеству электрической энергии АНО «ЭлектроСертификация» в 2014 г. выполнялись периодические и сертификационные испытания электрической энергии в распределительных сетях 110 центров питания «АЭС Инвест», всего в 330 пунктах контроля, а также анализ их результатов. Выявленные несоответствия показателей качества электрической энергии нормам на участках районных электрических сетей приведены на рис. 3.3, где $K_{U(n)}$ – коэффициент n -й гармонической составляющей напряжения.

Основным выявленным нарушением качества электрической энергии в территориальной сетевой организации ООО «АЭС Инвест», является несоответствие по $\delta U_{(-)}$ и $\delta U_{(+)}$. В итоговом докладе Росстандарта за 2014 г. также отмечалось нарушение по этим показателям как наиболее частое.

Отклонение напряжения является локальным показателем качества электрической энергии. Его регулирование может осуществляться как на электрических станциях при производстве, так и в сетевой организации при транспортировке и распределении электрической энергии. Основными причинами несоответствий могут быть: потери напряжения в сети, превышающие предельные

значения; отсутствие (неиспользование) автоматического регулятора напряжения трансформаторов в центрах питания или неверный закон регулирования напряжения в центре питания; непереключение отпаяк трансформаторов с ПБВ и др.

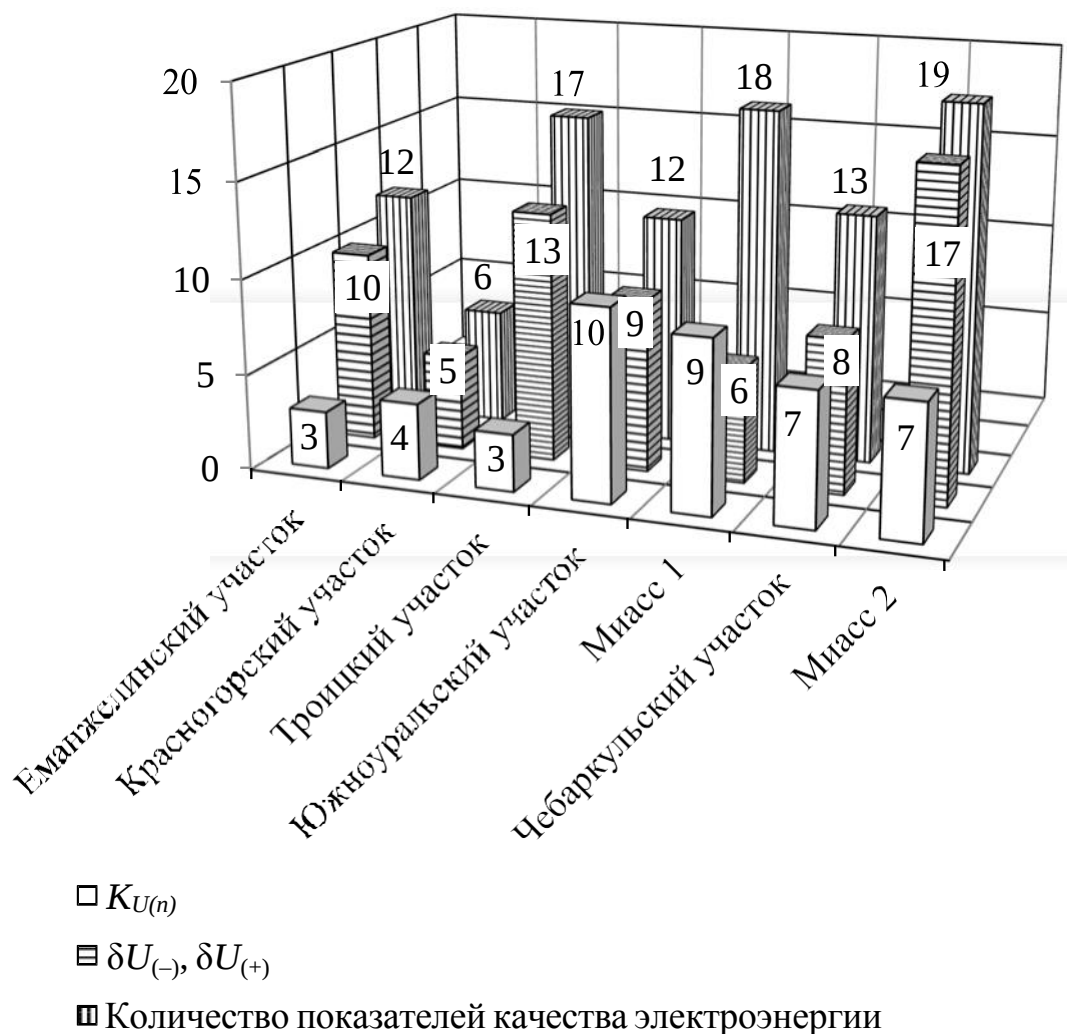


Рис. 3.3. Несоответствия показателей качества электрической энергии нормам на участках распределительных электрических сетей территориальных сетевых организаций «АЭС Инвест».

Кто и как конкретно должен обеспечивать необходимый диапазон отклонения напряжения? Ответ однозначный – это сетевая организация, располагающая центрами питания, обязанности которой по поддержанию режимов напряжения строго конкретизированы в [9]. А именно, в п. 6.3.12 указывается: «При регулировании напряжения в электрических сетях должны быть обеспечены:

– соответствие показателей напряжения требованиям государ-

ственного стандарта;

- соответствие уровня напряжения значениям, допустимым для оборудования электрических станций и сетей с учетом допустимых повышений напряжения частоты на электрооборудовании (в соответствии с данными заводов-изготовителей и циркуляров);

- необходимый запас устойчивости энергосистем;

- минимум потерь электроэнергии в электрических сетях энергосистем».

В п. 6.3.13 отмечается следующее: «На трансформаторах и автотрансформаторах, оборудованных устройствами РПН (регулирование под нагрузкой), питающих распределительные сети 6–35 кВ, должны быть включены автоматические регуляторы напряжения. Отключение автоматических регуляторов допускается только по заявке. На трансформаторах в распределительной сети 6–35 кВ должны использоваться ответвления переключателей без ПБВ, обеспечивающие с учетом регулирования напряжения трансформаторами с РПН соответствие напряжения на выводах приемников в сетях 0,4 кВ требованиям государственного стандарта. Настройка регуляторов напряжения и положения ответвлений ПБВ трансформаторов должны корректироваться в соответствии с изменениями схемы сети и нагрузки. Параметры настройки автоматических регуляторов и положения ответвлений ПБВ трансформаторов должны быть утверждены техническим руководителем энергообъекта».

По методике ФСК ЕЭС была выполнена «оценка соответствия изменений показателя «отклонение напряжения» в пункте контроля закону встречного регулирования напряжения» для двух подстанций 110/6 кВ (три секции шин 6 кВ). Подстанции принадлежат «МРСК Урала». Результаты приведены в табл. 3.1. В таблице использованы обозначения: $\delta U_{\text{нм}}$, $\delta U_{\text{ср}}$, $\delta U_{\text{нб}}$ – наименьшее, среднее и наибольшее значения отклонения напряжения в пункте контроля от номинального напряжения, ΔU – диапазон изменения напряжения, где $\Delta U = |\delta U_{\text{нб}} - \delta U_{\text{нм}}|$, %, $\Delta U_{\text{сут}}$ – диапазон изменения напряжения в течение суток, %, $\Delta U_{\text{ср}}$ – разница между средними значениями для режимов наибольших и наименьших нагрузок, %; стабилизация определяется, если $1\% \geq \Delta U_{\text{ср}} \geq -1\%$; регулирование напряжения в течение суток не осуществляется или закон его изменения не соответствует принципам встречного регулирования и стабилизации напряжения, если $\Delta U_{\text{ср}} < -1$.

Т а б л и ц а 3.1

**Оценка соответствия изменений показателя «отклонение напряжения» в пункте контроля закону
встречного регулирования напряжения**

Подстанция	Шина контроля	Режим наибольших нагрузок				Режим наименьших нагрузок				$\Delta U_{\text{сут}}$	$\Delta U_{\text{ср}}$	Заключение о соответствии закону изменения напряжения
		$\delta U_{\text{нм}}$	$\delta U_{\text{ср}}$	$\delta U_{\text{нб}}$	ΔU	$\delta U_{\text{нм}}$	$\delta U_{\text{ср}}$	$\delta U_{\text{нб}}$	ΔU			
Районная № 1	1 с.ш. 6 кВ	1,42	4,73	6,99	5,57	4,60	6,72	7,48	2,88	6,06	–1,99	регулирование напряжения в те- чение суток не осуществляется
Комсомольская	1 с.ш. 6 кВ	6,10	6,62	7,63	1,53	7,01	7,41	8,14	1,13	2,03	–0,79	стабилизация
	2 с.ш. 6 кВ	4,91	5,46	6,60	1,69	2,62	6,34	7,08	4,46	4,46	–0,88	стабилизация

Заключение о законе изменения напряжения было сделано следующее: регулирование напряжения в течение суток не осуществляется на одной системе шин 6 кВ, на двух системах шин осуществляется стабилизация напряжения. Из чего следует вывод, что п. 6.3.12 [9] не выполняется, что не позволяет обеспечить требуемый диапазон отклонений напряжения в точке передачи электрической энергии.

Совершенно очевидно, что для обеспечения должного качества электрической энергии у потребителей, особенно в сетях низкого напряжения, необходимо соблюдение, в частности, установленных требований [7] для показателей «отклонение напряжения» всеми участниками поставки электрической энергии потребителю, прежде всего смежными сетевыми организациями. Отношение к этому у большого числа территориальных сетевых организаций весьма формальное.

В [10–12] весьма подробно описывается проблема обеспечения необходимых уровней напряжения в точке передачи электрической энергии смежных сетевых организаций. В этих работах выполнен анализ договоров смежных территориальных сетевых организаций в части качества электрической энергии, представлены расчеты рекомендуемых диапазонов напряжения в точке передачи электрической энергии и, самое главное, даны конкретные предложения к установлению требований к отклонению напряжения в договоре на услуги по передаче электрической энергии смежным территориальным сетевым организациям.

Соответствие диапазонов $\delta U_{(-)}$ и $\delta U_{(+)}$ требованиям, установленным в [7], является необходимым, но не достаточным условием для получения сертификата. Сетевая организация также должна доказать стабильность показателя качества электрической энергии по напряжению, т.е. разработать и внедрить внутренние методические документы и инструкции по управлению качеством электрической энергии; создать систему контроля качества электрической энергии (периодического или непрерывного); привести техническое состояние эксплуатируемых сетей к уровню, требуемому [9] и другими нормативными документами.

В России насчитывается около 3000 городов, включая поселки городского типа, в которых проживает порядка 110 млн чел. Общая протяженность сетей 0,4; 6, 10 кВ, обеспечивающих электроснабжение коммунально-бытовых потребителей городов, ориен-

тировочно составляет 900 тыс. км. При этом существует около 300 тыс. трансформаторных подстанций 6–10/0,4 кВ с установленной мощностью трансформаторов порядка 90 ГВА. В настоящее время с помощью городских сетей распределяется почти 50 % вырабатываемой в стране электрической энергии [13]. Например, в Москве доля потребления электрической энергии бытовыми абонентами достигает 40 %. Поэтому в соответствии со ст. 7 Постановления Правительства РФ № 442 [4] и ст. 38 Федерального закона «Об электроэнергетике» [3] ответственность за надежность снабжения потребителей и качество электрической энергии ложится на субъекты электроэнергетики, в частности на сетевые компании.

В новом проекте «Правил по обязательной сертификации электрической энергии» «объектом сертификации является электрическая энергия в распределительных сетях сетевых организаций, обеспечивающих передачу электрической энергии».

Правовое техническое регулирование позволило создать систему обязательной сертификации электрической энергии и государственного контроля (надзора) за ее качеством. Созданная система подтверждения качества электрической энергии в первую очередь связана с неукоснительным выполнением сетевыми организациями своих прямых обязанностей, что обеспечит требуемые уровни напряжения в точке передачи электрической энергии различных уровней, включая бытовых потребителей. Созданная система способствует становлению системы контроля и управления качеством электрической энергии в сетевых организациях, так как работы по оптимизации режимов напряжения расчетные, методические, экспериментальные, эксплуатационные при подготовке к сертификации электрической энергии и разработанные мероприятия для устранения выявленных проблем и нарушений – основной инструмент управления качеством электрической энергии. Созданная в России система потребовала от сетевых организаций повсеместного проведения большого количества испытаний электрической энергии, что способствовало развитию метрологического обеспечения контроля качества электрической энергии и накоплению измерительной информации, связанной с качеством электрической энергии в сетевых организациях. Утверждение, что «система подтверждения имеет ряд существенных недостатков, одним из которых является сложность, даже невозможность достижения основной цели – передачи потребителям электрической энергии, качество ко-

торой соответствует параметрам, установленным действующими стандартами», (речь идет о показателях $\delta U_{(-)}$ и $\delta U_{(+)}$ в точке передачи электрической энергии), связано с нежеланием руководителей исполнять обязанности, изложенные в [9]. А как же «умные сети», если во ВРУ–0,4 кВ нельзя обеспечить величины показателей $\delta U_{(-)}$ и $\delta U_{(+)}$ равными 10 % ?

ГЛАВА 4. УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В МРСК, ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ СЕТЕВЫХ ОРГАНИЗАЦИЯХ

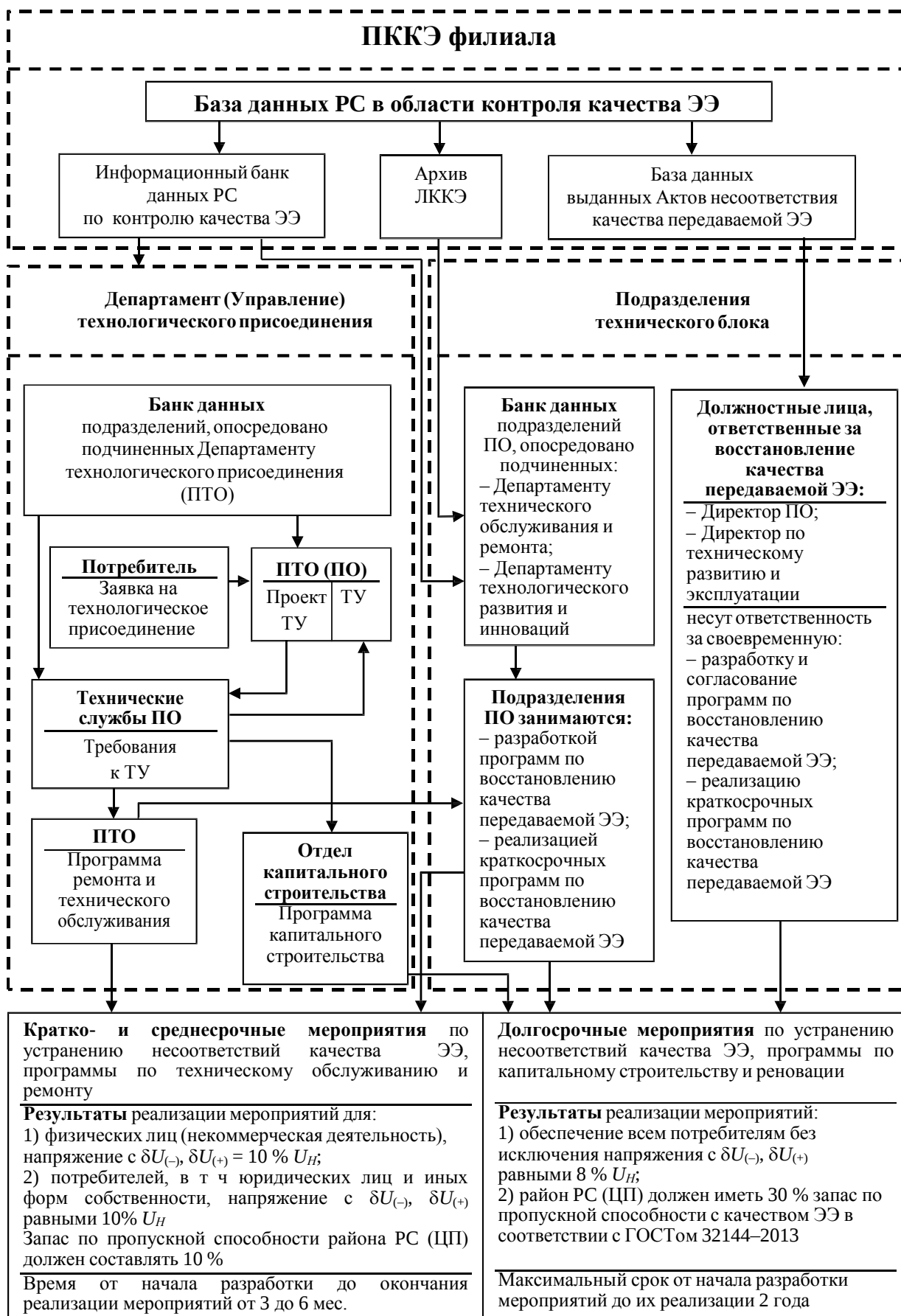
4.1. Система управления качеством электрической энергии в ПАО «МРСК Волги»

Внедрение системы управления качеством электрической энергии в сетевой компании подразумевает организацию системы мониторинга показателей качества электрической энергии, выявление их несоответствий нормативным требованиям [1] и разработку механизмов их устранения. Система мониторинга показателей качества электрической энергии опирается на периодический, непрерывный и другие виды контроля [2], обеспечивающие поступление достоверной информации.

Процесс управления качеством электрической энергии, организованный в ПАО «МРСК Волги», описан во внутреннем регламенте предприятия и представлен в виде блок-схемы на рис. 4.1. На рисунке обозначено: ЛККЭ – лаборатория по контролю качества электрической энергии; ПККЭ – подразделение контроля качества электрической энергии; ПО – производственное отделение; ПТО – производственно-технический отдел; РС – распределительные сети; ТУ – технические условия; ЦП – центр питания; ЭЭ – электрическая энергия.

Процесс устранения несоответствий включает:

- 1) установление причин возникновения несоответствий;
- 2) разработка мероприятий по устранению причин несоответствий, включающих проведение организационных мероприятий, мероприятий в порядке текущей эксплуатации и ремонта, замены основного оборудования и реконструкции электрических сетей, изменение топологии сетевого района электроснабжения;
- 3) планирование мероприятий по устранению причин несоответствий с определением сроков их выполнения;



Кратко- и среднесрочные мероприятия по устранению несоответствий качества ЭЭ, программы по техническому обслуживанию и ремонту

Результаты реализации мероприятий для:

- 1) физических лиц (некоммерческая деятельность), напряжение с $\delta U_{(-)}, \delta U_{(+)} = 10\% U_H$;
- 2) потребителей, в т.ч. юридических лиц и иных форм собственности, напряжение с $\delta U_{(-)}, \delta U_{(+)} = 10\% U_H$

Запас по пропускной способности района РС (ЦП) должен составлять 10 %

Время от начала разработки до окончания реализации мероприятий от 3 до 6 мес.

Долгосрочные мероприятия по устранению несоответствий качества ЭЭ, программы по капитальному строительству и реновации

Результаты реализации мероприятий:

- 1) обеспечение всем потребителям без исключения напряжения с $\delta U_{(-)}, \delta U_{(+)} = 8\% U_H$;
- 2) район РС (ЦП) должен иметь 30 % запас по пропускной способности с качеством ЭЭ в соответствии с ГОСТом 32144–2013

Максимальный срок от начала разработки мероприятий до их реализации 2 года

Рис. 4.1. Управление качеством электрической энергии в «МРСК Волги».

4) осуществление мероприятий по устранению причин несоответствий;

5) внеочередной контроль качества электрической энергии на объектах, в которых были выполнены мероприятия по устранению причин несоответствий;

6) анализ эффективности выполненных мероприятий.

С 2010 г. в филиалах ПАО «МРСК Волги» периодический мониторинг качества электрической энергии проводится штатным персоналом предприятия, ранее привлекались подрядные организации. Данный вид работ является составной частью системы управления качеством электрической энергии, созданной ПАО «МРСК Волги» в 2011 г. Внедрение этой системы позволило существенно повысить качество передаваемой потребителям электрической энергии за счет эффективности и своевременного выполнения адресных мероприятий. Систематический контроль показателей качества электрической энергии позволяет оперативно выявлять и устранять их несоответствие нормативным требованиям [1] посредством разработки и осуществления корректирующих мероприятий в распределительной сети для приведения показателей качества электрической энергии к нормативным.

Периодический мониторинг проводится по следующим показателям:

- положительное и отрицательное отклонения напряжения;
- коэффициент n -й гармонической составляющей напряжения;
- коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности;
- коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности;
- отклонение частоты.

Основными проблемными показателями в сетях 0,4 кВ по результатам периодического мониторинга являются:

- положительное и отрицательное отклонения напряжения;
- коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности.

Мероприятия по устранению несоответствий показателей качества электрической энергии нормативным требованиям по сроку исполнения делятся на три категории: кратко-, средне- и долгосрочные.

К краткосрочным мероприятиям относятся работы, не требующие больших затрат:

- выравнивание электрических нагрузок по фазам;
- регулирование напряжения в центрах питания;
- изменение положения устройств ПБВ;
- замена или регулировка небольших элементов сети с невысокой стоимостью.

Данные мероприятия выполняются эксплуатационным или ремонтным персоналом в кратчайшие сроки в порядке текущей эксплуатации, но не позднее 1 мес. после утверждения плана мероприятий. Результатом проведенных мероприятий являются устранение причин несоответствия показателей качества электрической энергии нормативным требованиям [1].

К среднесрочным мероприятиям относятся работы, требующие замены или ремонта основного оборудования электрических сетей:

- регулирующих устройств трансформаторов 6–110 кВ (РПН, АРНТ, ПБВ);
- регулирующих устройств трансформаторов 6–10 кВ (ПБВ);
- замены проводов на участках линий 6–10 и 0,4 кВ.

Среднесрочные мероприятия производятся эксплуатационным или ремонтным персоналом в срок не более 6 мес. Результатом проведенных мероприятий являются:

- устранение причин несоответствий показателей качества электрической энергии нормативным требованиям [1];
- обеспечение запаса по пропускной способности линий на 10 % и более с учетом существующих нагрузок потребителей.

К долгосрочным мероприятиям относятся работы по:

- изменению топологии сетевого района, разделению фидеров питания 0,4–10 кВ;
- строительству новых участков линий 0,4–10 кВ или всей питающей линии в целом.

Долгосрочные мероприятия должны быть разработаны и реализованы в рамках программы капитального строительства в период не более 2 лет. Результатом проведенных мероприятий являются:

- устранение причин несоответствий показателей качества электрической энергии нормативным требованиям [1];
- обеспечение запаса по пропускной способности линии, сетевого района или участка не менее чем на 30 % с учетом существ-

вующих и перспективных нагрузок потребителей.

Для построения легитимной и качественной работы в 2011 г. лаборатории по контролю качества электрической энергии филиалов ПАО «МРСК Волги» были аккредитованы как испытательные лаборатории.

Специалисты ПАО «МРСК Волги» постоянно повышают свой профессиональный уровень в рамках технической учебы, специализированных сборов на базе предприятия, а также в учебных центрах на курсах по повышению квалификации. Высокий уровень специалистов и эффективное внедрение системы управления качеством электрической энергии подтверждаются успешным прохождением аккредитованными испытательными лабораториями филиалов ПАО «МРСК Волги» инспекционного контроля, проводимого Федеральной службой по аккредитации «Росаккредитация».

В соответствии со ст. 7 Закона РФ «О защите прав потребителей» [3] и Постановлением Правительства РФ от 01.12.2009 г. № 982 [4] электрическая энергия подлежит обязательной сертификации по показателям качества электроэнергии, установленным в [1]. В связи с этим в филиалах ПАО «МРСК Волги» на постоянной основе ведется сертификация электрической энергии. Обязательной сертификации подлежит электрическая энергия, предназначенная для приобретения и использования гражданами исключительно для личных, семейных, домашних и иных нужд, не связанных с осуществлением предпринимательской деятельности, и проводится по следующим показателям: положительное и отрицательное отклонения напряжения и отклонение частоты.

Контроль качества электрической энергии ПАО «МРСК Волги» осуществляет, применяя сертифицированные приборы для измерения показателей качества электрической энергии, обеспечивающие измерение и расчет всех необходимых параметров для оценки и анализа качества электрической энергии.

Непрерывный мониторинг качества электрической энергии проводится в целях непрерывного наблюдения за показателями для их оценки и управления качеством электрической энергии. Поступление информации о величинах показателей качества и их соответствии установленным нормам [1], а также о других параметрах режима сети осуществляется непрерывно от автономных стационарных средств измерения или автоматизированной информационно-измерительной системы сбора, обработки и хранения информации

об оценках показателей качества электрической энергии. Наличие системы, способной постоянно отслеживать и анализировать процессы, влияющие на качество электрической энергии, имеет большое значение для результативного управления ее качеством. В рамках непрерывного мониторинга могут быть получены не только оценки показателей качества электрической энергии, относящихся к продолжительным изменениям характеристик напряжения, но и информация о случайных событиях в электрических сетях, таких как провал и прерывание напряжения, перенапряжение [2].

В качестве пунктов контроля используются границы раздела балансовой принадлежности между сетевыми компаниями и потребителями или иной пункт, ближайший к границе раздела, в котором могут быть проведены измерения показателей качества электрической энергии. Выбранные пункты контроля необходимо указывать в договоре на оказание услуг по передаче электрической энергии или в акте разграничения балансовой принадлежности и эксплуатационной ответственности.

Информация, полученная в результате мониторинга показателей качества электрической энергии, актуальна как для сетевых компаний, так и для потребителей. Сетевым компаниям мониторинг позволяет оперативно разрабатывать организационные и технические мероприятия по повышению качества электрической энергии на основе данных, получаемых в режиме реального времени, а также выявлять потребителей, вносящих искажения в сеть. Для потребителей непрерывный мониторинг показателей качества электрической энергии позволит сформировать доказательную базу для претензионной работы в случае причинения им материального ущерба по причине неудовлетворительного качества электроснабжения.

4.2. К вопросу создания единой системы обеспечения качества электрической энергии на примере энергосистемы Санкт-Петербурга

Электрическая энергия с экономической и юридической точек зрения является товаром с набором специфических свойств: непрерывность и совпадение во времени процессов производства, транспортировки и потребления; зависимость качества электрической энергии от процессов производства, транспорта и потребления; невозможность хранения электрической энергии и возврата некаче-

ственной электрической энергии; невозможность определения наличия электрической энергии и ее качества без специальных приборов. На каждом этапе цепочки «генерация – транспорт – распределение – потребление» электрическая энергия воспринимает воздействие технических средств различных субъектов электроэнергетики [5], что показано в таб. 4.1.

Т а б л и ц а 4.1

Характеристики электрической энергии и влияющие на них субъекты рынка

Характеристики электрической энергии	Субъекты рынка электрической энергии
Отклонение частоты	Генерирующие компании, системный оператор, потребитель
Отклонение напряжения	Генерирующие компании, системный оператор, сетевые компании, потребитель
Провал напряжения	Сетевые компании, потребитель
Импульс напряжения	Сетевые компании, потребитель
Перенапряжение	Сетевые компании, потребитель
Несимметрия трехфазной системы напряжений	Сетевые компании, потребитель с несимметричной нагрузкой
Несинусоидальность напряжения	Сетевые компании, потребитель с нелинейной нагрузкой
Колебания напряжения	Сетевые компании, потребитель с резкопеременной нагрузкой

В свою очередь, электрическая энергия оказывает влияние на технические средства, а при определенных условиях может вызвать нарушение их нормального функционирования и, как следствие, причинение вреда здоровью и жизни людей, имуществу. Такие последствия могут возникнуть при превышении показателями, характеризующими качество электрической энергии, нормативных значений, установленных в [2]. В силу этих причин электрическая энергия внесена в Единый перечень продукции, подлежащей обязательной сертификации [4].

Нормирование требований к качеству электрической энергии на территории СССР и затем РФ осуществлялось ГОСТом 13109–97 в редакциях 1967, 1987 и 1997 гг. [6]. При этом длительное время не было нормативных документов, устанавливающих методы контроля, измерения и анализа показателей качества электрической энергии.

Попытка устранить имеющиеся пробелы впервые была предпринята путем выпуска руководящих документов [7, 8].

Последующий выпуск стандартов был связан с необходимостью гармонизации нормативной базы в области качества электрической энергии нашей страны с действующими стандартами стран Евросоюза, а также со структурными изменениями в российской электроэнергетике [9]. К последним изменениям относится выпуск межгосударственных стандартов России и ряда стран СНГ с датой вступления в силу с 1 января 2014 г. – ГОСТ 30804.4.30–2013 [10] (ранее ГОСТ Р 51317.4.30–2008) и ГОСТ 32145–2013 [11] (ранее ГОСТ Р 53333–2008), с 1 июля 2014 г. – ГОСТ 32144–2013 [1] и с 1 января 2015 г. – ГОСТ 33073–2014 [2]. Следует отметить, что на территории России в период с 1 января 2013 г. до 1 июля 2014 г. действовало одновременно два стандарта на нормы качества электрической энергии – [6] и [12]. Согласно п. 2 Приказа Росстандарта от 25.10.2012 г. № 565–ст [13], «решение о применении стандартов до 1 июля 2014 г. принимала организация, обеспечивающая поставки электрической энергии». Решение было продиктовано неготовностью перехода в короткие сроки на новые нормы как производителей средств измерений, так и компаний, занимающихся контролем качества электрической энергии, включая органы надзора, испытательные лаборатории, сетевые компании и др. На рис. 4.2 представлена временная шкала с указанием года разработки нормативных документов в области качества электрической энергии.

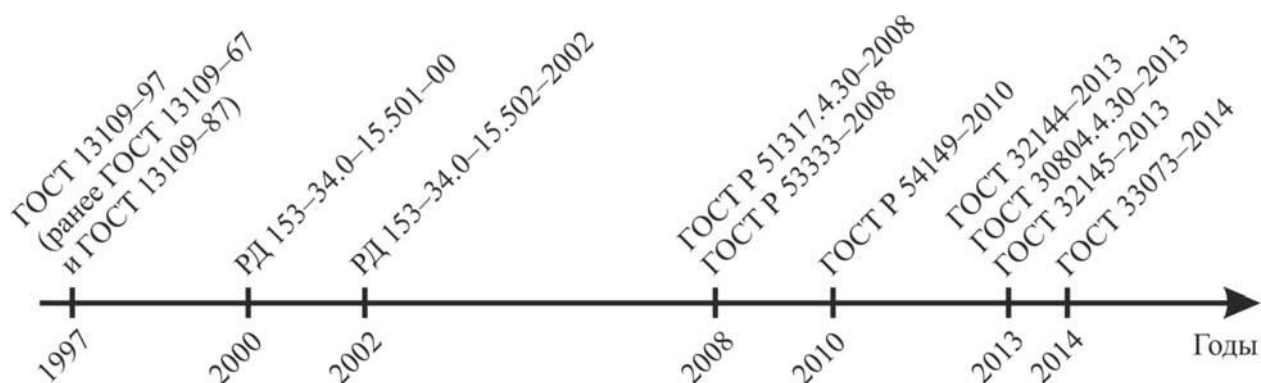


Рис. 4.2. Нормативные документы в области качества электрической энергии.

Имеющиеся противоречия в стандартах, неопределенность в их применении в переходный период и техническая неготовность субъ-

ектов электроэнергетики усугубили проблему установления ответственности за качество электрической энергии в цепочке «генерация – транспорт – распределение – потребление». До реформы электроэнергетики за качество электрической энергии отвечала энергоснабжающая организация, в зоне ответственности которой находились генерация, транспорт, распределение и сбыт электрической энергии. После реформирования электроэнергетики на розничных рынках появился ряд новых субъектов:

- потребители электрической энергии;
- энергосбытовые компании;
- гарантирующие поставщики;
- исполнители коммунальных услуг, приобретающие электроэнергию в целях оказания гражданам коммунальных услуг;
- сетевые организации и иные владельцы объектов электросетевого хозяйства, осуществляющие хозяйственную деятельность по передаче и распределению электрической энергии;
- производители и поставщики электрической энергии, продажа которой не осуществляется на оптовом рынке, и др.

Согласно ст. 38 Закона РФ «Об электроэнергетике» [14] «субъекты электроэнергетики, обеспечивающие поставки электрической энергии потребителям, в том числе энергосбытовые организации, гарантирующие поставщики и территориальные сетевые организации, в пределах своей ответственности отвечают перед потребителями электрической энергии за надежность обеспечения их электрической энергией и ее качество в соответствии с требованиями технических регламентов и иными обязательными требованиями».

«Правила недискриминационного доступа к услугам по передаче электрической энергии и оказания этих услуг» [15] устанавливают перед потребителем обязательства «поддерживать в надлежащем техническом состоянии принадлежащие ему средства релейной защиты и противоаварийной автоматики, приборы учета электрической энергии и мощности, устройства, обеспечивающие регулирование реактивной мощности, а также иные устройства, необходимые для поддержания требуемых параметров надежности и качества электрической энергии...»; «поддерживать на границе балансовой принадлежности значения показателей качества электрической энергии, обусловленные работой его энергопринимающих устройств, соответствующие техническим регламентам и иным обязательным требованиям, в том числе соблюдать установленные договором зна-

чения соотношения потребления активной и реактивной мощности, определяемые для отдельных энергопринимающих устройств (групп энергопринимающих устройств)» [15].

Таким образом, потребители после реформирования электроэнергетики должны решать вопросы качества электрической энергии, взаимодействуя с сетевыми и сбытовыми организациями, а также самостоятельно, к чему они оказались не готовы [5]. Следует добавить, что для граждан, использующих электрическую энергию для личных, семейных, домашних и иных нужд, не связанных с предпринимательской деятельностью, органом, контролирующим и обеспечивающим надежность и качество электрической энергии, является исполнитель коммунальных услуг.

Потребитель, прежде всего взаимодействуя со сбытовой компанией, вправе рассчитывать на получение качественной услуги, т.е. электрической энергии из внешней сети, и требовать ее предоставления от субъекта, которому он платит деньги. Однако сбытовые компании по своей сути являются агрегаторами финансов и имеют лишь организационные возможности влияния, как правило, на владельцев сетевой инфраструктуры, имеющих непосредственно точки передачи электрической энергии потребителям.

Следует отметить, что на территории одной агломерации структура рынка электроэнергетики представлена различными компаниями в каждом сегменте. В качестве примера рассмотрим энергосистему Санкт-Петербурга.

Крупнейшими субъектами электроэнергетики, осуществляющими производство электрической энергии на территории Санкт-Петербурга, являются ПАО «ТГК-1», филиал «Северо-Западная ТЭЦ», АО «Интер РАО – Электрогенерация», АО «Юго-Западная ТЭЦ» и ряд других.

Передача и распределение электрической энергии на территории Санкт-Петербурга осуществляется 24 сетевыми организациями, крупнейшими из которых являются филиал ПАО «ФСК ЕЭС» – МЭС Северо-Запада, ПАО «Ленэнерго», АО «Санкт-Петербургские электрические сети» [16].

Среди сбытовых компаний следует выделить три гарантирующих поставщика: АО «Петербургская сбытовая компания», ООО «Русэнергосбыт», АО «Оборонэнергосбыт».

Анализ полезного отпуска электрической энергии и мощности в разрезе территориальных сетевых организаций на территории

Санкт-Петербурга за март 2016 г. крупнейшим гарантирующим поставщиком АО «ПСК», доля которого на рынке сбыта Санкт-Петербурга составляет 92 %, показывает, что большая часть его приходится на ПАО «Ленэнерго» – 78 %. Крупнейший филиал ПАО «Ленэнерго» – «Кабельная сеть» обслуживает сеть 0,4; 6 и 10 кВ Санкт-Петербурга.

Анализ рынка электроэнергетики Санкт-Петербурга позволяет определить структурных лидеров в сфере сбыта и передачи электрической энергии потребителю. На первый взгляд взаимодействие таких организаций должно создать благоприятные условия для обеспечения качества электрической энергии, а также быть ориентиром для остальных аналогичных компаний. Но не все так однозначно. Наличие генерирующих компаний, смежных сетевых организаций, исполнителей коммунальных услуг, потребителей с разным пониманием необходимости и техническими возможностями обеспечения качества электрической энергии как в границах своей сети, так и в точках передачи электрической энергии и точках общего присоединения создает условия для появления различного рода причин снижения качества электрической энергии (рис. 4.3).



Рис. 4.3. Результаты анализа обращений потребителей, связанных с низким качеством электрической энергии.

Анализ обращений потребителей, вызванных низким качеством электрической энергии по отклонению от норм и поступивших в филиал ПАО «Ленэнерго» – «Кабельная сеть» в 2015 г., позволяет наглядно увидеть, что более половины причин лежат вне зоны его ответственности. Ключевыми причинами, по которым в ряде центров питания отклонения напряжения выходят за нормативные значения, являются:

- некорректная работа из-за выведенного из работы или отсутствующего АРНТ;
- ошибки при регулировании напряжения дежурным персоналом;
- трансформаторы с ограниченным диапазоном регулирования напряжения.

Следует отметить, что у генерирующих компаний, которые являются владельцами нескольких центров питания, по ряду причин отсутствуют экономические стимулы к участию в создании систем автоматического регулирования напряжения и реактивной мощности [17].

На территории Санкт-Петербурга некоторые сетевые организации одновременно участвуют в электроснабжении потребителей, находящихся в зонах ответственности разных гарантирующих поставщиков. Смежные сетевые организации, владеющие сетями низкого и среднего напряжений, имеют точки общего присоединения, в том числе к общим центрам питания. При этом политика в области мониторинга качества электрической энергии, анализа потерь напряжения в сети, рекомендаций по определению законов регулирования напряжения в центрах питания может отличаться и ведется без учета сетей смежной сетевой организации.

В свою очередь, сети потребителей имеют ряд проблем, приводящих к снижению качества электрической энергии как внутри сети при соответствии показателей качества электрической энергии нормативным требованиям в точках передачи [5], так и с передачей электромагнитных помех в точки передачи электрической энергии и точки общего присоединения, связанных с неравномерным распределением нагрузки однофазных потребителей, нелинейными электроприемниками, высокими внутридомовыми потерями, значительным эксплуатационным износом оборудования и др. Опыт взаимодействия с потребителями показывает, что имеют место проблемы не только информированности потребителей о причинах низкого ка-

чества электрической энергии, но и организационно-технические, связанные с их устранением.

Анализ ситуации, сложившейся в области качества электрической энергии, на примере энергосистемы Санкт-Петербурга позволяет сделать следующие выводы:

- структурные реформы в электроэнергетике создали предпосылки к возникновению множества субъектов и усложнению взаимоотношений между ними и, как следствие, появлению проблемы установления ответственности за снижение качества электрической энергии;

- имеющаяся в процессе обновления стандартов в области качества электрической энергии неясность в их применении вызвала снижение темпа перехода к использованию новых норм и средств измерения, а также неоднозначность оценки качества электрической энергии в действующих сетях;

- наличие различных внутренних интересов субъектов электроэнергетики препятствует совместному контролю и обеспечению качества электрической энергии с учетом вклада каждого субъекта;

- существует необходимость создания единой системы обеспечения качества электрической энергии с вовлечением как минимум ключевых субъектов электроэнергетики в рамках одной агломерации.

Единая система обеспечения качества электрической энергии, представленная на рис. 4.4, позволит обеспечить обмен данными и координацию деятельности субъектов электроэнергетики в границах географической агломерации с целью выполнения требований к качеству электрической энергии при наличии прозрачной политики в данной сфере по всей цепочке «генерация – транспорт – распределение – потребление».

В качестве ключевого механизма единой системы обеспечения качества электрической энергии может рассматриваться интеграционная шина, сформированная на основе имеющихся в субъектах электроэнергетики информационных систем: геоинформационной, управления производственными активами, диспетчерского управления и сбора данных, контроля и учета энергоресурсов и т.д.

Создание единой системы с построением горизонтальных и вертикальных связей между субъектами электроэнергетики позволит более эффективно достигать выполнения нормативных требований в области качества электрической энергии по сравнению с негармони-

зированными обособленными системами, действующими в отдельных компаниях.

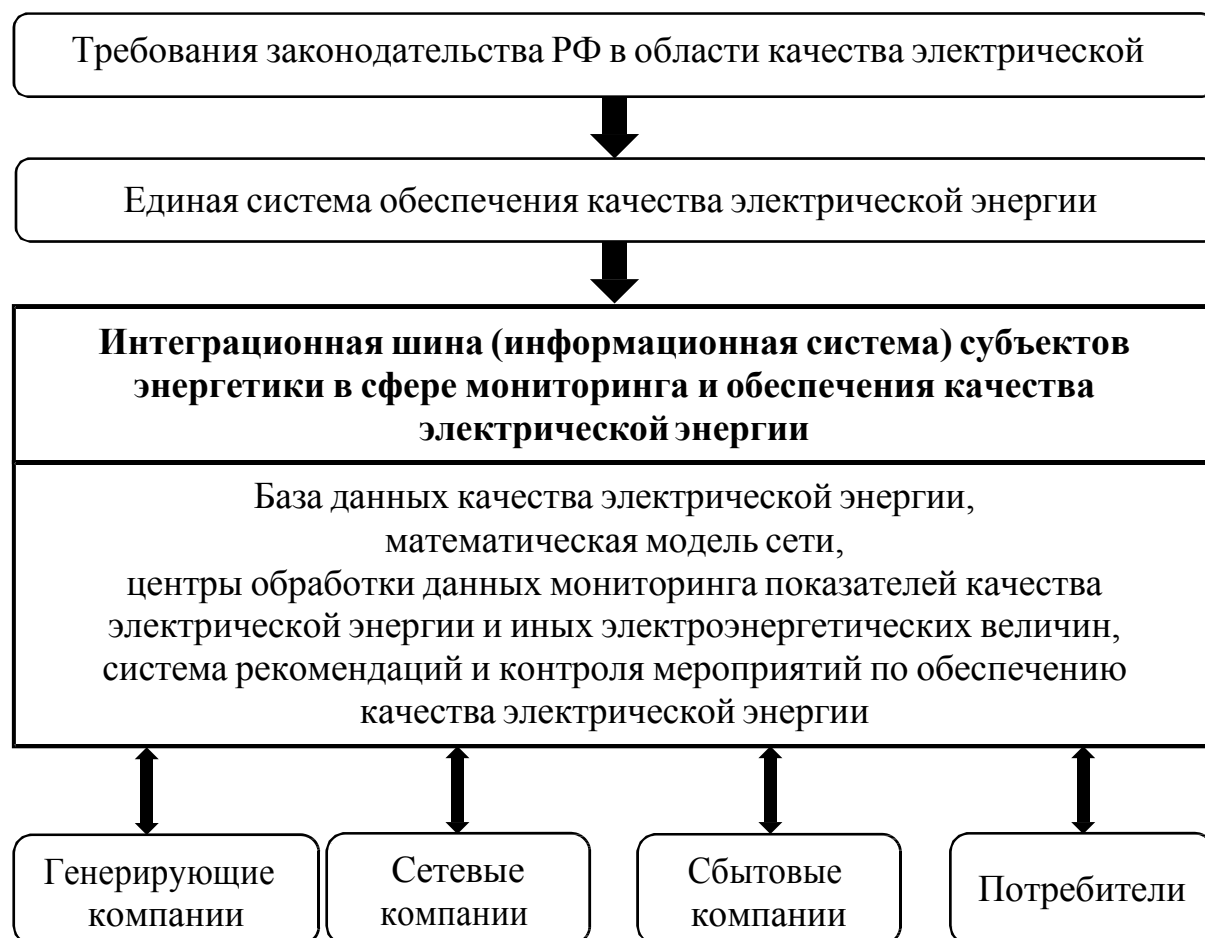


Рис. 4.4. Концепт-схема единой системы обеспечения качества электрической энергии.

ГЛАВА 5. ПРОБЛЕМЫ И СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

5.1. Система обеспечения качества электрической энергии в распределительных сетях

Электрическая энергия используется во всех сферах жизнедеятельности человека. Она обладает совокупностью специфических свойств и непосредственно участвует при создании различных видов продукции, влияя на их качество. Каждый электроприемник предназначен для работы при определенных параметрах электрической энергии: номинальных значениях частоты, напряжения, тока и т.д., поэтому для его нормального функционирования необходимо обеспечить требуемое качество электрической энергии. Для обеспечения, с высокой долей вероятности, всех потребителей электрической энергией, качество которой соответствует требованиям нормативных документов, в РФ необходимо решить ряд системных задач. В настоящее время к ним относятся:

- устранение технических и методических недостатков в действующих стандартах в области контроля качества электрической энергии и гармонизация стандартов между собой;
- создание нормативно-правовых актов, устанавливающих механизмы реализации системы обеспечения качества электрической энергии;
- формирование и проведение единой технической политики, направленной на обеспечение качества электрической энергии.

В рамках решения первой задачи, а именно гармонизации действующих стандартов в сфере качества электрической энергии, был проведен анализ стандартов, выявлены технические и методические недостатки, которые рассмотрены нами ниже и требуют устранения.

Необходимо привести термины и определения действующего ГОСТа Р 54130–2010 [1] в соответствие со всеми действующими стандартами качества электрической энергии, регламентирующими

нормы, контроль и мониторинг качества электрической энергии, в том числе ГОСТом 32144–2013 [2], ГОСТом 33073–2014 [3] и т.д.

Следует внести изменения в ГОСТ 33073–2014 [3], исправив методические ошибки по расчету погрешности, неопределенности измерений.

Необходимо внести изменения в ГОСТ 32144-2013 [2], имеющий ссылку на ГОСТ 29322–92 [4], который в настоящее время имеет статус недействующего стандарта. Нужно гармонизировать ГОСТ 29322–2014 [5], заменивший ГОСТ 29322–92 [4], со стандартами, регламентирующими нормы, контроль и мониторинг качества электрической энергии относительно шкал номинальных напряжений. Шкалы номинальных напряжений стандартов [4] и [5] существенно отличаются. В указанных стандартах устанавливаются шкалы номинальных напряжений для систем и электрооборудования переменного тока, используемых в РФ, которые отличаются также от шкалы, применяемой в настоящее время. В частности, стандартом [4] для напряжений от 100 до 1000 В регламентировалось, что «до 2003 г. номинальные напряжения уже существующих сетей напряжением 220/380 и 240/415 В должны быть приведены к рекомендуемому значению 230/400 В». Реализовать такую масштабную задачу за короткий период невозможно, так как она затрагивает все сферы хозяйства страны. В настоящий момент ситуация остается прежней. Стандарт [5], устанавливая более широкий диапазон номинальных напряжений переменного тока от 100 В до 1200 кВ затрагивает все субъекты электроэнергетики. Шкала номинальных напряжений, установленная в [5], отличается от шкалы номинальных напряжений, применяемой в электросетевом комплексе РФ, которая была введена в ГОСТе 721–77 [6].

Изменение номинальных напряжений существующей энергосистемы страны согласно требованиям [5] повлечет огромные и неоправданные капитальные затраты по замене основного электротехнического оборудования энергосистемы и коррекции значительного количества технологических процессов по обслуживанию оборудования, включая замену вспомогательного оборудования.

Большинство действующих нормативных документов, регламентирующих технические и технологические аспекты электроэнергетики, включая потребителей, в том числе стандарты, определяющие нормы качества электрической энергии в системах электро-

снабжения общего назначения, разработаны для шкал номинальных напряжений, отличающихся от приведенных в [5].

В рамках решения второй задачи, а именно создания нормативно-правовых актов, освещающих и устанавливающих механизмы реализации системы обеспечения качества электрической энергии, был проведен анализ правовых документов, действующих в РФ. В результате анализа сделаны следующие выводы.

Необходимо разработать нормативные документы по вопросам определения ответственности потребителей, влияющих на качество электрической энергии, а также документ, определяющий переход от процедуры сертификации электрической энергии к созданию системы обеспечения качества электрической энергии. В частности, ни один из правовых документов РФ не содержит информации об ответственности потребителей за ухудшение показателей качества электрической энергии. На практике влияние нагрузок потребителей на ряд показателей очень высок.

Право потребителя на качественную электрическую энергию закреплено ст. 542 и 543 Гражданского кодекса РФ [7]. Требования к качеству электрической энергии установлены, как указывалось выше, в [2]. Потребители, использующие электрическую энергию для личных, домашних нужд, защищены Законом РФ «О защите прав потребителей» [8]. Отпускаемая им электрическая энергия подлежит обязательной сертификации на основании Постановления Правительства РФ [9] и Постановления Госстандарта РФ [10].

А какая ответственность возложена на потребителей электрической энергии? Из анализа действующих правовых документов [11–13] следует, что ответственность потребителей, негативно влияющих на параметры режима электрической сети, не определена. Также не отлажен механизм воздействия на этих потребителей и не определена мера их ответственности за вносимые искажения. До тех пор, пока не будут разработаны правила пользования электрической энергией для потребителей, потребитель не будет чувствовать ответственность за вносимые искажения.

В настоящее время взаимоотношения потребителей с энерго-снабжающими организациями должны регулироваться договорами энергоснабжения, в которых необходимо указывать пределы допустимых величин показателей качества электрической энергии на границе балансовой принадлежности или в точках общего присо-

единения потребителей, а также допустимый диапазон искажений, вносимых потребителями в сеть, и ответственность сторон при их нарушении. Таким образом, за качество электрической энергии должны отвечать как поставщики электрической энергии, так и потребители.

На практике именно на этапе выдачи технических условий на технологическое присоединение и согласования проектной документации сетевая организация должна предъявлять требования в части влияния электроустановок потребителей на качество электрической энергии в точке присоединения. Для этого необходимо:

- провести анализ электромагнитной обстановки по кондуктивным помехам в точке присоединения электроприемника (потребителя), проведя контрольные измерения и необходимые расчеты для определения фактического влияния уже существующих источников помех;
- выработать рекомендации по ограничению уровня помех, вносимых в точку общего присоединения;
- оценить допустимое влияние вносимых помех;
- разработать мероприятия по ограничению помех, вносимых электроприемником (потребителем) и оценить их технико-экономическую эффективность;
- реализовать необходимые мероприятия и провести контрольные измерения.

В тоже время сроки осуществления новых технологических присоединений постоянно сокращаются, сетевые компании не успевают провести мероприятия по поддержанию надлежащего качества электрической энергии в полном объеме.

При заключении договора на технологическое присоединение ответственность сетевых организаций четко формулируется и контролируется регламентирующими документами, а ответственность потребителей носит формальный характер. Сетевые организации не имеют действенных правовых документов по воздействию на потребителей с целью устранения их негативного влияния на распределительные сети общего назначения. Например, Приказ Минпромэнерго России от 22.02.2007 г. № 49 [13] о соотношении потребляемой активной и реактивной мощности потребителями не выполняется. А единственный стандарт, хоть как-то определявший «вероятных виновников ухудшения качества

электроэнергии», а именно, ГОСТ 13109–97 [14] с 1 июля 2014 г. прекратил свое действие на территории РФ.

Необходимо детально проработать порядок действий, установить ответственность для потребителей, негативно влияющих на электрическую сеть, и определить инструменты, дающие возможность воздействия на потребителей на любом этапе. Еще в 2007 г. неотложными задачами методического обеспечения управления качеством электрической энергии были:

- разработка методики расчета допустимого влияния потребителя на качество электрической энергии в точке общего присоединения;

- разработка методики оценки фактического влияния электроустановок потребителей на качество электрической энергии в точке общего присоединения;

- разработка методики выбора мероприятий по ограничению влияния электроустановок потребителей на качество электрической энергии в точке общего присоединения;

- разработка методики организации мониторинга качества электрической энергии в электрических сетях и выбор мест установки средств измерения показателей качества электрической энергии;

- разработка методики контроля отклонений напряжения.

Существующий порядок сертификации электрической энергии может подтвердить качество электрической энергии только в период проведения сертификационных испытаний и лишь в точках проведения испытаний. В течение срока действия сертификата в электрических сетях постоянно проводятся процедуры по технологическому присоединению новых или отключению ранее присоединенных потребителей, изменяются состав и топология электрических сетей. Возникает необходимость корректировки перечня объектов, указанных в сертификатах соответствия. Согласно действующим правилам сертификации, заявитель обязан уведомить орган, осуществляющий сертификацию, о проведенных изменениях. В свою очередь, орган, осуществляющий сертификацию, обязан принять решение об аннулировании ранее выданного сертификата, ввиду внесения значительных изменений в технологию процесса производства и номенклатуру сертификата соответствия. Данный регламентированный алгоритм не позволяет закончить процесс сертификации электрической энергии, из-за необходимости постоянно дополнять или вносить изменения в

перечень объектов электрических сетей, заявляемых на сертификацию. Орган, осуществляющий сертификацию, фактически не может контролировать качество электрической энергии, передаваемой через центры питания, ранее указанные в сертификате соответствия.

В отличие от существующего порядка подтверждения соответствия качества электрической энергии в электрических сетях, затраты на систему обеспечения качества электрической энергии являются целевыми, так как предусматривают проведение мероприятий, связанных с основной деятельностью предприятий. Это позволит сетевым компаниям на легитимном основании заявлять расходы на поддержание системы управления качеством как профильные расходы предприятия, устанавливая четкую связь регионального тарифного решения с качеством передаваемой электрической энергии.

Изменение подхода к обеспечению качества электрической энергии в распределительных сетях, т.е. переход от сертификации качества электрической энергии к созданию системы обеспечения качества электрической энергии, позволит увеличить вероятность достижения конечного результата в виде передачи большинству потребителей электрической энергии соответствующего качества. При этом речь идет только о регулировании и поддержании надлежащего уровня показателей качества электрической энергии, воздействие на которые оказывают распределительные сети. Корректировка подходов увеличит гибкость системы по обеспечению и подтверждению качества электрической энергии.

В рамках решения третьей задачи, а именно формирования и проведения единой технической политики, необходимо решить технические вопросы по построению системы обеспечения качества электрической энергии в распределительных сетях в полном объеме, разработав алгоритм своевременного выявления и устранения несоответствий показателей качества электрической энергии нормативным требованиям [2].

Система должна состоять из ряда четко регламентированных процессов и подпроцессов, направленных на:

- организацию поступления и передачи информации о качестве электрической энергии в распределительных сетях, включая расчетный и инструментальный способ получения данных, а также

поступление информации от потребителей электрической энергии в виде обращений и жалоб;

- выявление, классификацию несоответствий качества электрической энергии и разработку мероприятий по их устранению;

- согласование и утверждение графика и перечня подготовленных мероприятий;

- реализацию мероприятий по повышению качества электрической энергии с последующим контролем их эффективности.

В основу системы менеджмента данных процессов необходимо заложить возможность выявления существующих или потенциально возможных отклонений показателей качества электрической энергии от нормативных значений на каждом этапе общего циклического процесса обеспечения качества электрической энергии в распределительных сетях.

Все процессы системы нужно регламентировать стандартами организации. Они должны быть представлены СТО двух уровней: СТО 2-го уровня, т.е. более низкого, и СТО 1-го уровня, соответственно, более высокого.

К СТО 2-го уровня должны быть отнесены регламентированные процессы сбора и обработки информации о распределительных сетях в области качества электрической энергии, в том числе:

- сбор и обработка информации для проведения расчетов потерь напряжения в распределительных сетях и выбор характерных точек для проведения инструментального контроля (мониторинга), измерений показателей качества электрической энергии;

- сбор и обработка информации о качестве электрической энергии, поступающей от потребителей;

- организация и проведение измерений показателей качества электрической энергии в виде периодического и внеочередного мониторинга показателей качества электрической энергии.

К СТО 1-го уровня должны быть отнесены регламентированные процессы классификации несоответствий, разработки, согласования и реализации мероприятий по их устранению, в том числе:

- классификация несоответствий и разработка мероприятий по их устранению;

- установление технических требований к мероприятиям, например, для соответствия запаса пропускной способности сети, потерь напряжения и электрической энергии;
- согласование перечня и план-графика реализации мероприятий;
- организация и регламентирование сроков выполнения мероприятий.

Итоговым контрольным показателем функционирования системы обеспечения качества электрической энергии сетевого предприятия будет являться технический контроль достаточности и исполнения сроков реализации мероприятий по повышению качества электрической энергии. Функцию контроля за деятельностью сетевых организаций в данной области необходимо возложить на региональные органы государственной власти и/или технического контроля.

Методики, процедуры и периодичность государственного контроля за функционированием систем обеспечения качества электрической энергии сетевых предприятий должны быть изложены в правовом документе или своде правил [15], имеющем статус Постановления Правительства РФ. Область регулирующего воздействия документа должна распространяться на сетевые предприятия или иные субъекты энергетики только в пределах их ответственности. Данный принцип не нарушает деятельности контролирующих органов в лице региональных подразделений Росстандарта. В частности, организация и проведение контроля показателей электрической энергии проводится в точках передачи электрической энергии, которые, как правило, совпадают с границами раздела балансовой принадлежности.

В настоящее время при обеспечении передачи потребителям электрической энергии надлежащего качества некоторые сетевые компании накопили наработки в области контроля качества электроэнергии в виде внутренних стандартов предприятий, регламентов, инструкций, положений. Наработки ПАО «МРСК Волги» реализованы во внутреннем регламенте, где описана система контроля качества электрической энергии, которая раскрывает и четко отражает распределение функций по поддержанию качества электрической энергии, передаваемой потребителям. Она также устанавливает порядок и источники финансирования программ по поддержанию качества электрической энергии.

Для формирования полноценной системы обеспечения качества электрической энергии необходимо выполнить следующее:

- провести анализ действующих стандартов в области качества электрической энергии и их корректировку с целью гармонизации между собой;

- сформировать основные принципы технического регулирования, процессинга, контроля для последующего их использования при разработке проекта свода правил, регламентирующих деятельность сетевых компаний по построению и функционированию системы обеспечения качества электрической энергии, представить проект технического регламента, который бы опирался на доработанные национальные стандарты в области качества электрической энергии;

- создать методическое обеспечение управления качеством электрической энергии, а также правила расчета допустимого влияния потребителей на качество электроэнергии;

- разработать стандарт, регламентирующий методику расчета потерь напряжения в сети с несимметричной нагрузкой.

5.2. Организационные и технические проблемы, первоочередные задачи обеспечения качества электрической энергии

В основе организационных проблем обеспечения надлежащего качества электрической энергии повсеместно лежат споры между субъектами электроэнергетики о том, кто должен оплачивать мероприятия по приведению показателей качества электрической энергии в нормативные диапазоны. Характерными являются следующие ситуации:

- смежные электросетевые компании не могут договориться о том, кто будет реализовывать мероприятия по регулированию напряжения;

- электросетевая компания и потребитель не могут прийти к определенному решению относительно компенсации гармоник или несимметрии токов и напряжений в точках общего присоединения.

В первом случае нередко предметом спора оказывается установка линейного регулировочного трансформатора в центре питания вышестоящей компании. Это мероприятие, как правило, является оптимальным с точки зрения затрат для конечного потребителя. Од-

нако поскольку претензии со стороны потребителей на неудовлетворительное качество электрической энергии поступают в нижестоящую распределительную сетевую компанию, в условиях пробелов в законодательстве вышестоящая компания, эксплуатирующая центр питания, не заинтересована нести расходы по установке регулировочного трансформатора. Во втором случае по причине отсутствия нормативно-правовых документов, ограничивающих негативное влияние потребителей на качество электрической энергии, электросетевые компании не могут добиться от искажающих это качество потребителей реализации мероприятий по компенсации генерируемых токов гармоник или токов обратной последовательности. Соответственно, сетевые организации не считают возможным реализовывать данные мероприятия в рамках своего тарифа, в том числе за счет потребителей, которые не ухудшают качество электрической энергии. Нередко представители электросетевых компаний, признавая нарушения требований [2] по качеству электрической энергии на своих подстанциях, не принимают никаких мер для решения проблем, аргументируя это тем, что «претензий от потребителей не много» и «необходимо ограничивать рост тарифа, который неминуемо взлетит, если как следует заниматься качеством электрической энергии». В описанных ситуациях реализация мер по повышению качества электрической энергии растягивается на годы. В целом можно утверждать, что вопросам обеспечения нормативного качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения не уделяется должного внимания ни на этапе проектирования, ни на этапе эксплуатации.

При планировании схем развития энергосистем и проектировании отдельных энергообъектов, как правило, определяются общие мероприятия, позволяющие обеспечить регулирование напряжения в широком диапазоне с помощью трансформаторов с РПН, средств компенсации реактивной мощности. Задачи по обеспечению требуемых уровней K_U , $K_{U(n)}$ и K_{2U} практически никогда не ставятся и не решаются. При таком подходе в регионах с высокими уровнями $K_{U(n)}$ типичной является ситуация, когда включить установленную батарею статических конденсаторов невозможно из-за перегрузки ее токами гармоник. А в регионах со сверхнормативными уровнями K_{2U} устанавливаются средства компенсации реактивной мощности с трехфазным управлением вместо необходимых, но более дорогих устройств с пофазным управлением, позволяющих снизить несим-

метрию напряжений. Происходящее обусловлено как недооценкой проблем в области качества электрической энергии, так и отсутствием общепринятых методик и программных комплексов по оценке показателей качества электрической энергии. При эксплуатации из мероприятий по обеспечению нормативного качества электрической энергии наиболее понятными для персонала электросетевых компаний являются действия по регулированию напряжения. Методология данного процесса хорошо отработана на практике. Однако разделение в ходе реформы вертикально интегрированных энергокомпаний, располагающих всеми необходимыми ресурсами, на генерирующие, магистральные и распределительные сетевые компании, а также системного оператора крайне усложнило в организационном плане решение сравнительно простой технической задачи по обеспечению требуемого качества электрической энергии по показателям $\delta U_{(-)}$ и $\delta U_{(+)}$. Для решения организационных задач по управлению качеством электрической энергии даже внутри одной сетевой компании требуется выстраивание соответствующего бизнес-процесса с участием большого числа подразделений различных функциональных блоков. На рис. 5.1–5.4 представлены предложения по организации подобного бизнес-процесса.

На практике центрами ответственности за качество электрической энергии в сетевых компаниях являются, как правило, метрологические подразделения, возможности которых сводятся к измерению показателей качества электрической энергии. Полноценные бизнес-процессы по управлению качеством электрической энергии отсутствуют. Как следствие, мероприятия по обеспечению надлежащего качества электрической энергии разрабатываются только после неоднократных претензий потребителей.

Технические проблемы обеспечения качества электрической энергии в России. Технические проблемы обеспечения нормативного качества электрической энергии тесно взаимосвязаны с указанными выше организационными вопросами. Существующий уровень развития техники позволяет решить большую часть из них уже в настоящее время. Основными сдерживающими факторами для проведения работ являются необходимость значительных инвестиций и споры между субъектами электроэнергетики о том, кто должен нести эти затраты. Рассмотрим характерные мнимые и действительные технологические причины ненадлежащего качества электрической энергии в отдельных энергосистемах России.



Рис.5.1. Подпроцессы управления качеством электрической энергии в сетевой компании.

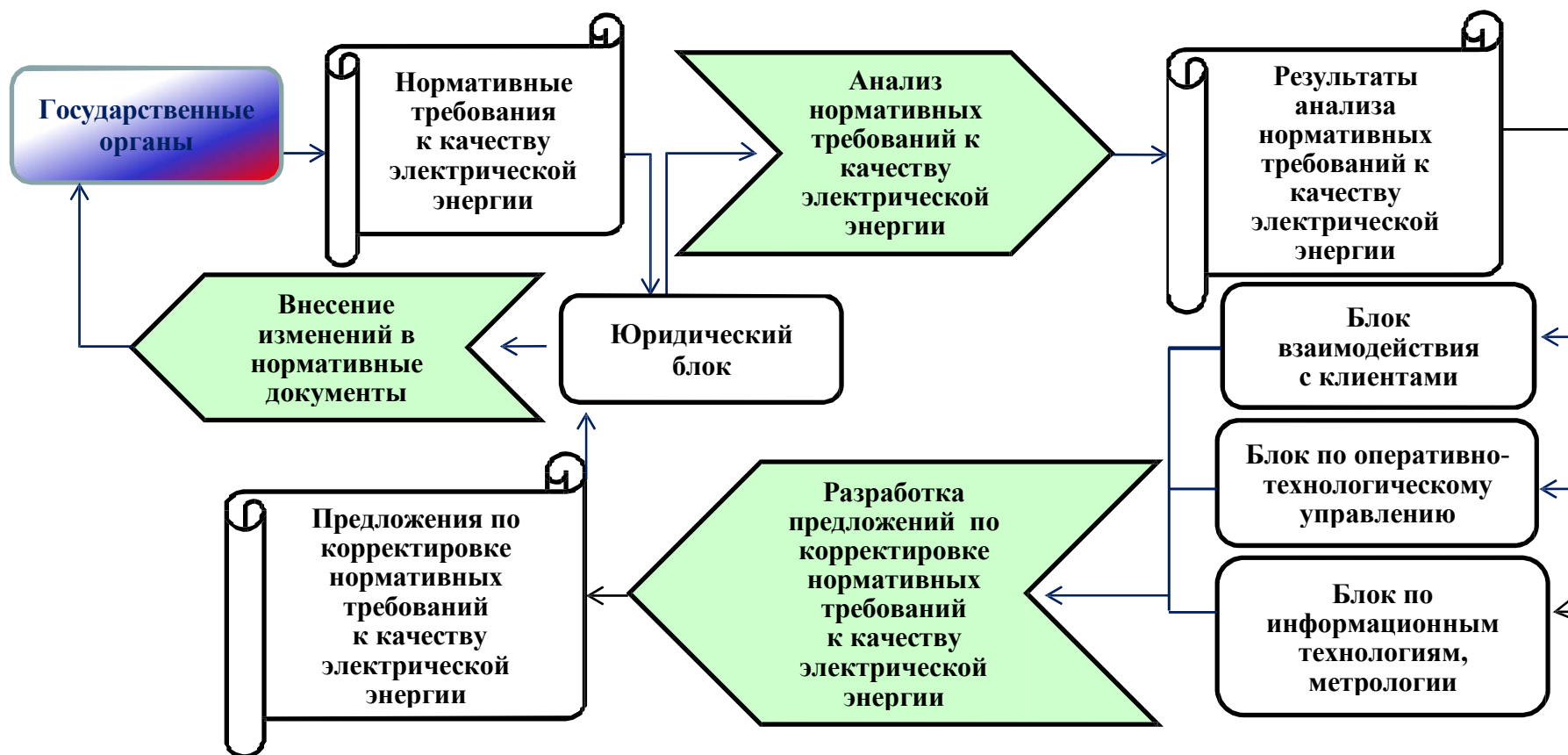


Рис. 5.2. Алгоритм разработки нормативных требований к качеству электрической энергии.

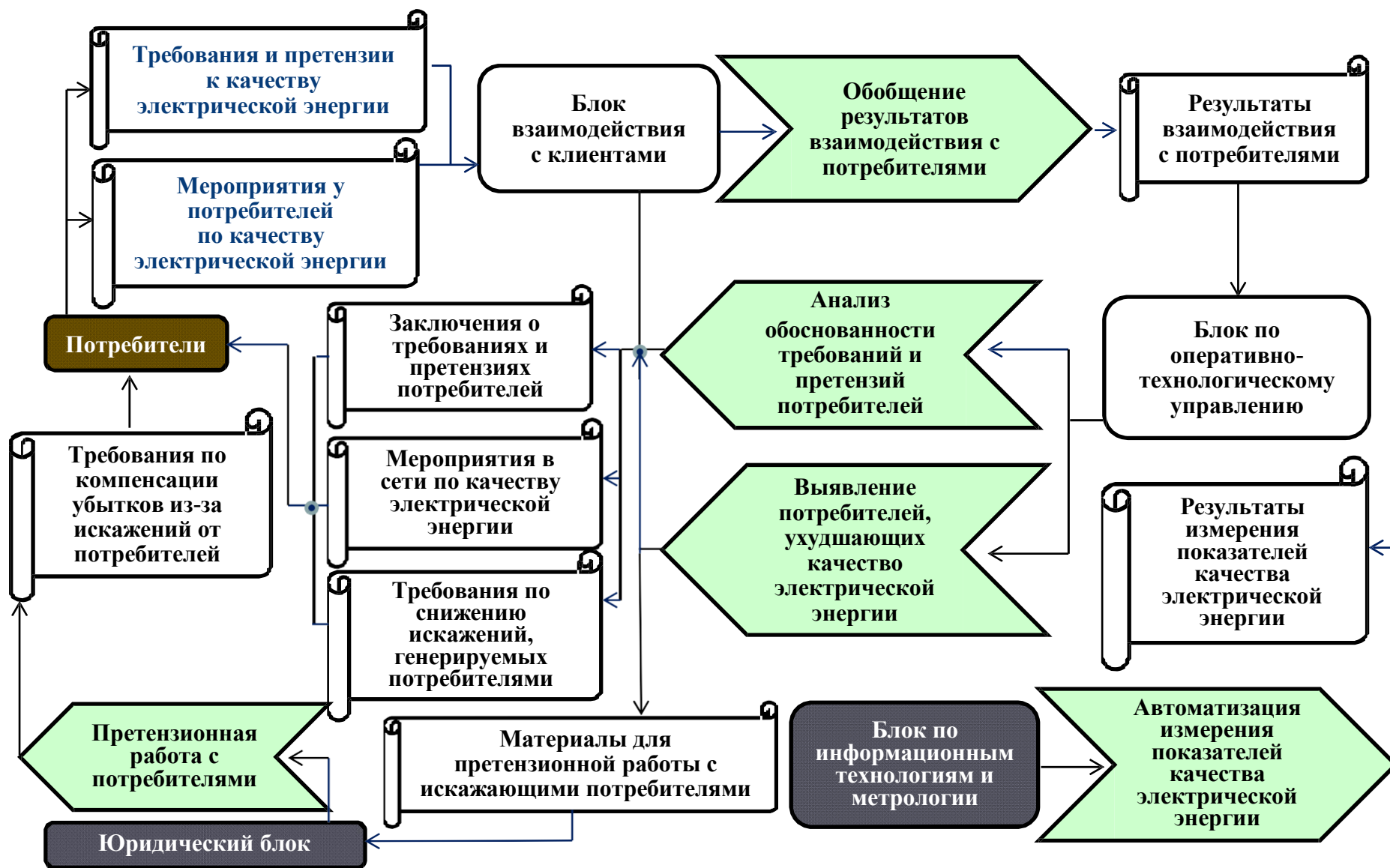


Рис. 5.3. Взаимодействие с потребителями с сфере качества электрической энергии.

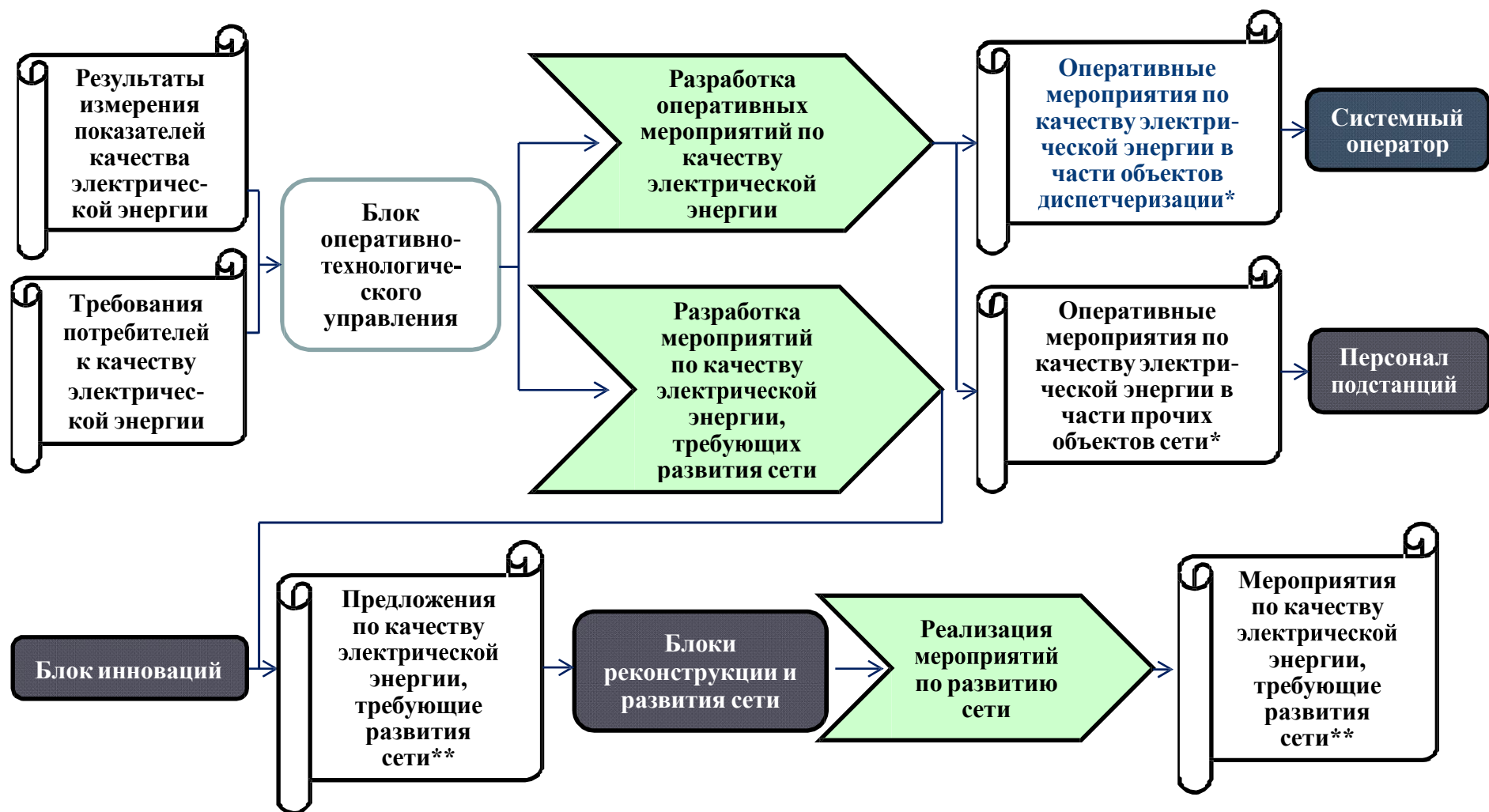


Рис. 5.4. Порядок разработки и реализация мероприятий по обеспечению надлежащего качества электрической энергии:

*оптимизация схемы сети, в том числе графиков отключения оборудования для ремонта, изменения режимов работы средств регулирования напряжения и компенсации реактивной мощности; ** установка дополнительных средств регулирования напряжения и компенсирующих устройств, систем автоматического регулирования.

Основным фактором, не позволяющим обеспечить требуемые уровни показателей $\delta U_{(-)}$ и $\delta U_{(+)}$, представители электросетевых компаний зачастую называют невозможность автоматического использования устройств РПН трансформаторов по причине их низкой надежности. Для того, чтобы оценить объективность данного запрета, необходимо напомнить историю появления повсеместных ограничений на переключения РПН под нагрузкой.

Письмом № 11–03–Ю от 04.05.1995 г. Департамент электрических сетей РАО «ЕЭС России» информировал предприятия энергетики о ряде технологических нарушений, связанных с повреждениями автотрансформаторов 330 кВ и выше при переключении РПН под нагрузкой, и рекомендовал использовать РПН с предварительным отключением оборудования от сети. Впоследствии в письме № ВК–667 от 05.02.1996 г. первого вице-президента РАО «ЕЭС России» В.В. Курявого было объявлено о том, что письмо № 11–03–Ю привело к значительному снижению качества регулирования напряжения в энергосистемах, противоречит требованиям «Правил техники эксплуатации электрических станций и сетей», и является не правомерным.

Несмотря на наличие опровержения, посыл, сформулированный в первом письме, оказался настолько действенным, что отказ от использования РПН, в том числе трансформаторов напряжением ниже 330 кВ, как в автоматическом режиме, так и под нагрузкой с дистанционным управлением, широко встречается и поныне. При этом нередко специалисты электросетевых компаний не могут предоставить никаких технических доказательств, обосновывающих запреты на использование РПН под нагрузкой, кроме формальных писем технических руководителей, выпущенных много лет назад.

Данный подход настолько сильно укоренился в практике эксплуатации, что применяется даже по отношению к новым РПН, которые допускают сотни тысяч циклов автоматических переключений под нагрузкой до капитального ремонта. Выдвигаются даже радикальные идеи по упрощению конструкции трансформаторов за счет исключения устройств РПН, которые предлагается заменять управляемыми средствами компенсации реактивной мощности.

Не отрицая сложность эксплуатации РПН на трансформаторах со сроком службы более 30 лет, можно тем не менее утверждать, что описанная проблема сильно преувеличена и относится больше к области организационной, нежели технической. Необходимо повсе-

местно добиваться штатной работы устройств РПН в соответствии с паспортными характеристиками. В качестве положительного примера можно привести опыт эксплуатации трансформаторов в европейских энергосистемах, в которых ежедневно осуществляются многократные автоматические переключения РПН, включая трансформаторы с высшим напряжением 400 кВ.

Дополнительным фактором, сдерживающим решение задачи по повышению качества электрической энергии по показателям $\delta U_{(-)}$, $\delta U_{(+)}$, является отсутствие в электрических сетях современных многоуровневых систем автоматического регулирования напряжения. Это касается как распределительных, так и магистральных сетей. Локальные системы регулирования отдельных устройств, таких как РПН, коммутируемых и управляемых средств компенсации реактивной мощности, не в состоянии обеспечить оптимальное управление режимом без учета информации о требуемых уровнях напряжения на объектах сети. Более того, в ЕЭС отсутствует даже практика применения систем группового автоматического управления для подстанций, на которых одновременно используются РПН и одно или несколько коммутируемых или управляемых средств компенсации реактивной мощности. На рис. 5.5 представлена схема иерархической системы регулирования напряжения, которую целесообразно реализовать для обеспечения качества электрической энергии. На рисунке используются следующие обозначения: САУ – система автоматического управления отдельными средствами регулирования напряжения и компенсации реактивной мощности, обеспечивающая реализацию команды управления верхнего уровня; САУ НРМ – групповая система управления напряжением и реактивной мощностью подстанции, обеспечивающая выбор оптимальных управляющих воздействий на подстанции; ГРАРМ – групповой регулятор активной и реактивной мощностей, обеспечивающий выбор оптимальных управляющих воздействий на генераторы.

Что касается отсутствия типовых мероприятий по компенсации несинусоидальности и несимметрии напряжений в электрических сетях, то это, по-видимому, обусловлено следующими факторами. Во-первых, до недавнего времени отсутствовала информация о том, насколько массовыми являются нарушения требований стандарта [2] по показателям K_U , $K_{U(n)}$ и K_{2U} . Считалось и считается, что проблема в основном касается систем электроснабжения промышленных предприятий и электрифицированной железной дороги. Однако, как

ДИСПЕТЧЕРСКИЙ ЦЕНТР ИЛИ ЦЕНТР УПРАВЛЕНИЯ СЕТЯМИ



Программно-технический комплекс с функциями:

- оценивания состояния режимов работы сети по данным телеметрии;
- оптимизации режимов сети по U и Q ;
- телеуправления/телерегулирования

Уставки регулирования напряжения на шинах подстанций



Рис. 5.5. Целевая схема иерархического регулирования напряжения в энергосистемах.

следует из результатов измерений, представленных в гл. 1 данной книги, это утверждение не соответствует действительности. Во-вторых, фильтрокомпенсирующие и фильтросимметрирующие устройства проектируются и внедряются как уникальное оборудование по специальным заказам промышленных предприятий. Соответственно, это находит отражение в повышении их стоимости и сложности обслуживания. В-третьих, электросетевые компании считают, что не должны за свой счет устанавливать устройства для компенсации искажений, генерируемых потребителями, а значит, и не реализуют технические меры по компенсации несинусоидальности и несимметрии напряжений.

С учетом возрастающих требований потребителей к качеству электрической энергии, а также пробелов в нормативно-правовой базе, позволяющих потребителям отказываться от реализации мероприятий по компенсации собственных искажений, в последнее время появились прецеденты, когда электросетевые компании за свой счет вынуждены устанавливать фильтрокомпенсирующие и фильтросимметрирующие устройства для обеспечения качества электрической энергии. В перспективе это должно привести к тому, что средства компенсации реактивной мощностью станут многофункциональными устройствами, которые позволяют не только регулировать величину напряжений, но и снижать их несинусоидальность и несимметрию. За счет массовости применения данные установки должны стать более доступными для практического применения.

К техническим задачам обеспечения качества электрической энергии следует отнести и создание программно-технических комплексов для автоматизированного анализа фактических и прогнозных показателей качества электрической энергии в электрических сетях. Насыщение ЕЭС средствами измерения приводит к появлению огромного количества данных о показателях качества электрической энергии и дополнительных характеристиках по току и мощности. Однако без создания методик анализа собираемой информации и их автоматизации разработка мероприятий по обеспечению качества электрической энергии остается очень трудоемкой и малоэффективной. Данные программно-технические комплексы наряду с функциями сбора и отображения результатов измерений показателей качества электрической энергии должны быть интегрированы с оперативно-информационными комплексами сетевых компаний для

выполнения автоматизированного анализа, а также должны быть способны выполнять различные расчеты.

Первоочередные мероприятия в области обеспечения нормативного качества электрической энергии. Начинать решение проблем в области качества электрической энергии следует с повышения доступности и прозрачности информации о фактическом уровне качества электрической энергии в электрических сетях.

Как показывает практика, управлением качества электрической энергии занимаются в первую очередь там, где потребители настойчиво добиваются от энергосбытовых и электросетевых компаний реализации своего права на надежное и качественное электрообеспечение в рамках нормативных требований.

В связи с этим потребителям, страдающим от низкого качества электрической энергии, следует активно пользоваться возможностями, предоставляемыми приказом Министерства энергетики от 15.04.2014 г. № 186 «О единых стандартах качества обслуживания сетевыми организациями потребителей услуг сетевых организаций». На основании данного документа сетевая организация обязана предоставлять потребителю информацию о качестве электрической энергии, в том числе посредством «личного кабинета потребителя» в сети Интернет. Признание сторонами факта наличия проблем с качеством электрической энергии является первым шагом к разработке и реализации мероприятий по его обеспечению.

В части нормативной базы в первую очередь требуется разработка и утверждение стандарта, ограничивающего токи гармоник и токи обратной последовательности, которые потребители имеют право «генерировать» в питающую сеть, с последующим внесением поправок в Постановление Правительства РФ от 27.12.2004 г. № 861 [11] в части уточнения обязательств потребителей при технологическом присоединении и получении услуг на передачу электроэнергии по обеспечению качества электрической энергии на основе разработанного стандарта по токам искажений. Кроме того, целесообразно внести изменения в Федеральный закон «Об электроэнергетике» [16], дополнив п. 1 ст. 38 фразой: «Потребители, приобретающие электрическую энергию для производственных нужд, отвечают за поддержание на границах балансовой принадлежности качества электрической энергии, обусловленного работой их энергопринимающих устройств, в соответствии с требованиями технических регламентов и иными обязательными требованиями». Поскольку

наиболее заинтересованными в данных документах являются электросетевые компании, необходимо, чтобы ПАО «Россети» возглавило этот процесс.

Также целесообразно законодательно зафиксировать возможность обязательного непрерывного контроля качества электрической энергии в точке общего присоединения по инициативе любой из сторон – потребителя, энергосбытовой или электросетевой компаний. Протоколы контроля должны приниматься всеми сторонами и являться базовыми документами, на основании которых будут рассматриваться споры и взаимные финансовые претензии по качеству электрической энергии. Данные требования могли бы быть отражены в поправках к Постановлению Правительства РФ № 442 [12] и соответствующим подзаконным актам.

Для повышения мотивации электросетевых компаний к решению задач обеспечения нормативного качества электрической энергии в целом необходимо разработать и внедрить систему ключевых показателей эффективности качества электрической энергии по аналогии с показателями надежности, от которых в настоящее время зависят тарифы для данных компаний и премии их руководителей. Очевидно, что подобное решение может быть подготовлено и реализовано только на верхнем уровне государственного управления от лица Министерства энергетики РФ. Ключевые показатели эффективности могли бы быть привязаны, например, к количеству документально подтвержденных и обоснованных претензий потребителей к качеству электрической энергии, а также длительности выявленных нарушений.

В части развития технических средств обеспечения качества электрической энергии электросетевые компании совместно с научными и производственными организациями должны развивать технологии многоуровневых систем регулирования напряжения, многофункциональные средства компенсации и программно-технические комплексы по расчету и анализу показателей качества электрической энергии. Предложения по составу первоочередных мероприятий по обеспечению качества электрической энергии представлены в табл. 5.1.

В качестве выводов следует отметить, что:

– текущий уровень развития техники позволяет с минимальными затратами повысить качество регулирования напряжения в электрических сетях и сократить количество нарушений по показателям

Первоочередные мероприятия по обеспечению нормативного качества электрической энергии

Мероприятие	Исполнители	Ожидаемый результат
1. Разработка и утверждение стандарта, ограничивающего токи гармоник и обратной последовательности нагрузок потребителей	ПАО «Россети», Росстандарт	Распределение ответственности между сетевыми компаниями и потребителями по K_U , $K_{U(n)}$, K_{2U}
2. Внесение поправок в Постановление Правительства РФ от 27.12.2004 г. № 861 «Об утверждении правил недискриминационного доступа к услугам по передаче электрической энергии ...» в части уточнения обязательств потребителей при технологическом присоединении и получении услуг на передачу электрической энергии по обеспечению ее качества после выполнения п. 1 данной таблицы	Министерство энергетики, ПАО «Россети»	Создание основы для воздействия со стороны электросетевых компаний на потребителей в части проведения мероприятий по обеспечению нормативного качества электрической энергии
3. Внесение изменения в Федеральный закон «Об электроэнергетике», в виде дополнения п. 1 ст. 38 фразой: «Потребители, приобретающие электрическую энергию для производственных нужд, отвечают за поддержание на границах балансовой принадлежности качества электрической энергии, обусловленного работой их энергопринимающих устройств, в соответствии с требованиями технических регламентов и иными обязательными требованиями»	Министерство энергетики РФ, ПАО «Россети»	Создание основы для воздействия со стороны электросетевых компаний на потребителей в части проведения мероприятий по обеспечению нормативного качества электрической энергии
4. Законодательно зафиксировать возможность обязательного непрерывного контроля качества электрической энергии в точке общего присоединения по инициативе любой из сторон – потребителя, энергосбытовой или электросетевой компаний	НП «Сообщество потребителей энергии», НП гарантирующих поставщиков и энергосбытовых компаний, Министерство энергетики РФ, ПАО «Россети»	Создание нормативно-правовой базы для выстраивания взаимоотношений в сфере обеспечения качества электрической энергии на основе систем непрерывного измерения показателей качества электрической энергии

5. Разработка и внедрение системы ключевых показателей эффективности в области качества электрической энергии для электросетевых компаний	Министерство энергетики РФ, ПАО «Россети»	Повышение мотивации электросетевых компаний к управлению качеством электрической энергии
6. Разработка и внедрение многоуровневых систем автоматического регулирования напряжения	ПАО «Россети», ОАО «СО ЕЭС», научные и производственные компании	Улучшение качества электрической энергии по $\delta U_{(-)}$ и $\delta U_{(+)}$
7. Разработка и внедрение многофункциональных средств компенсации, обеспечивающих регулирование напряжения, компенсацию не-синусоидальности и несимметрии напряжения	ПАО «Россети», научные и производственные компании	Улучшение качества электрической энергии по $\delta U_{(-)}$, $\delta U_{(+)}$, K_U , $K_{U(n)}$ и K_{2U}
8. Разработка и внедрение программно-технических комплексов по расчету и анализу показателей качества электрической энергии	ПАО «Россети», научные и ИТ-компании	Оптимизация затрат на мероприятия по повышению качества электрической энергии

$\delta U_{(-)}$ и $\delta U_{(+)}$, однако требует повышения качества эксплуатации существующих средств регулирования и создания автоматических систем управления как на уровне объектов энергосистем, так и на уровне диспетчерских центров или центров управления сетями;

– по мере роста ответственности электросетевых компаний и потребителей за качество электрической энергии будет возрастать и потребность в доступных по цене многофункциональных средствах компенсации, которые наряду с регулированием реактивной мощности смогут обеспечивать компенсацию токов и напряжений гармоник и обратной последовательности, гарантируя выполнение нормативных требований по K_U , $K_{U(n)}$, K_{2U} .

5.3. Мониторинг качества электрической энергии в электрических сетях

Несмотря на требования к субъектам электроэнергетики обеспечивать качество электрической энергии, контроль показателей качества электроэнергии в электрических сетях России в настоящее

время проводится преимущественно как реакция на претензии потребителей или предписания надзорных органов и представляется сетевым компаниям дополнительной нагрузкой к их основной эксплуатационной деятельности.

На фоне повсеместного оснащения сетевых компаний переносными и стационарными средствами измерения показателей качества электрической энергии все чаще звучат вопросы – не являются ли затраты на мониторинг бесполезными и как эти работы могут способствовать повышению качества электрической энергии в электрической сети?

Контроль и выявление причин ухудшения качества электрической энергии, разработка эффективных мероприятий по обеспечению нормативных требований по качеству электрической энергии могут быть упрощены и удешевлены на основе информации, получаемой в результате непрерывного мониторинга показателей качества электрической энергии и параметров режима. Разработчики средств измерения предлагают необходимую аппаратуру для создания автоматизированных систем непрерывного мониторинга в течение длительного времени. Информация, полученная в результате таких измерений, может быть использована для решения не только перечисленных задач, но и множества других, в чем в дальнейшем будут заинтересованы как потребители, так и сетевые компании.

Нормативные требования к мониторингу качества электрической энергии и практика его проведения в электрических сетях России. Основные положения по контролю и мониторингу качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения установлены в [3]. Данный стандарт предусматривает проведение измерений показателей качества электрической энергии при решении задач, которые условно можно разделить на две категории: «обязательного» и «добровольного» контроля качества электрической энергии.

К задачам «обязательного» контроля могут быть отнесены:

- сертификационные и арбитражные испытания;
- инспекционный контроль за сертифицированной электрической энергией;
- государственный надзор;
- рассмотрение претензий.

Перечисленные задачи связаны с оценкой соответствия качества электрической энергии требованиям [2]. Как правило, они ини-

цируются органами государственного надзора и предназначены мотивировать сетевые компании к выявлению причин нарушений требований к качеству электрической энергии и проведению мероприятий по его повышению. В соответствии с [3] длительность измерений показателей качества электрической энергии обычно составляет 1 неделю. Измерения проводятся в отдельных узлах сети с периодичностью один раз в 1–2 года в лучшем случае. Кроме органов государственного надзора основными заинтересованными участниками этих измерений являются независимые испытательные лаборатории, привлекаемые сетевыми компаниями, потребителями электрической энергии или надзорными органами и получающие за это финансовое вознаграждение. Результаты измерений в случае обнаружения нарушений нормативных требований становятся основой претензий в адрес сетевых компаний, зачастую даже не позволяя установить причины низкого качества электрической энергии.

К задачам «добровольного» контроля могут быть отнесены:

- испытания при определении технических условий для технологического присоединения;
- подготовка к сертификации электрической энергии;
- допуск к эксплуатации устройств потребителей, ухудшающих качество электрической энергии,
- разработка мероприятий по улучшению качества электрической энергии и др.

К последней категории отнесены задачи, которые наиболее прогрессивные сетевые компании выполняют по собственной инициативе, уделяя внимание обеспечению качества передаваемой электрической энергии, с целью предотвращения ущербов у себя и у потребителей вследствие искажений токов и напряжений в сети. Рекомендуемая длительность измерения показателей качества электрической энергии – не менее 2-х суток [3], периодичность – по мере необходимости. Организаторами работ и пользователями результатов являются сетевые компании, которые проводят регулярные и длительные измерения, охватывающие большое количество объектов сети. Наряду с показателями качества электрической энергии контролируются дополнительные характеристики по току и мощности, позволяющие определить причины низкого качества электрической энергии. На основе полученных данных разрабатываются организационные и технические мероприятия по обеспечению качества электрической энергии. Потребители электрической энергии, как

правило, не имеют возможности ознакомиться с данной информацией, поскольку она может отражать нарушения требований [2], в чем не заинтересованы сетевые компании. Для создания полноценной системы управления качеством электрической энергии в [3] рекомендуется организация непрерывного мониторинга показателей качества электрической энергии на основе стационарных средств измерения.

В обоих случаях финансирование обычно ложится на сетевые компании. Это само по себе, а также тот факт, что контроль качества электрической энергии выявляет большой пласт сложных проблем, требующих решения, становятся причинами, из-за которых сетевые компании очень неохотно занимаются измерением показателей качества электрической энергии и управлением качеством в целом. В наибольшей степени «прелести» обязательного подхода проявляются в процедуре сертификации качества электрической энергии. Представителями сетевых компаний она рассматривается в качестве излишней деятельности, приводящей к росту стоимости электрической энергии и мало способствующей улучшению ее качества. В связи с этим в последние годы сложилась успешная практика, когда электросетевые компании через суд доказывают необязательность проведения сертификации за свой счет [17]. В соответствии с постановлением правительства за обязательную сертификацию электрической энергии отвечают энергоснабжающие организации, функции которых на сегодняшний день разделены между сетевыми и сбытовыми организациями. Документа, устанавливающего зону ответственности при процедуре сертификации между этими субъектами, нет, что позволяет обеим сторонам этим не заниматься.

В последнее время крупные потребители стали проявлять интерес к созданию систем непрерывного мониторинга показателей качества электрической энергии. В основном это потребители, несущие существенный ущерб вследствие неудовлетворительного качества электроснабжения. Однако поскольку сетевые компании, питающие данных потребителей, не заинтересованы в раскрытии информации о фактических нарушениях нормативных требований к качеству электрической энергии, подобные системы мониторинга устанавливаются на объектах потребителей, а не на границах балансовой принадлежности. Соответственно, результаты измерений показателей не могут быть представлены в суде для предъявления претензий

и используются потребителями лишь для регулярной сигнализации сетевым и сбытовым компаниям о существующих проблемах.

В условиях отсутствия в российской практике организационных и экономических процедур эффективного взаимодействия сетевых компаний и потребителей по вопросам качества электрической энергии изменение принципов финансирования и проведения работ по мониторингу показателей может стать импульсом для решения задачи по повышению качества электрической энергии, поставляемой потребителям.

Перспективный подход к мониторингу качества электрической энергии. Существующая в настоящее время нормативно-правовая база не предусматривает построения экономических отношений между потребителями и сетевыми компаниями на основе результатов непрерывного мониторинга качества электрической энергии на границах балансовой принадлежности. Под экономическими отношениями здесь понимается формализованный и принятый обеими сторонами подход, при котором пострадавшая сторона имеет возможность предъявить контрагенту аргументированную претензию, основанную на результатах объективного контроля показателей качества электрической энергии, и размер ущерба для компенсации.

Поскольку интересы сторон по данному вопросу всегда разнонаправлены, то без изменения нормативно-правовой базы создание системы мониторинга показателей качества электрической энергии будет блокироваться либо потребителем, либо сетевой компанией. Например, если с инициативой создания системы мониторинга показателей выступит потребитель, несущий убытки из-за низкого качества электрической энергии, то сетевая компания будет против, предвидя свои потери. И наоборот, если сетевая компания несет убытки по причине негативного влияния потребителя на качество электрической энергии, то потребитель будет против создания системы объективного контроля его влияния на питающую сеть.

Для изменения ситуации целесообразно узаконить возможность создания системы непрерывного мониторинга показателей качества электрической энергии на границе балансовой принадлежности или по согласованию сторон в других пунктах по предложению потребителя, энергосбытовой или сетевой компаний с финансированием затрат на создание и эксплуатацию системы за счет инициатора. Результаты мониторинга должны безоговорочно приниматься сторонами в качестве легитимного источника информации при рас-

смотреии споров в отношении качества электрической энергии. Требования могли бы быть отражены в поправках к Постановлению Правительства РФ от 04.05.2012 г. № 442 [12] и соответствующих подзаконных актах.

В случае узаконивания данного подхода дальнейшее развитие ситуации может происходить следующим образом. Потребители, несущие убытки вследствие неудовлетворительного качества электрической энергии, будут финансировать создание и эксплуатацию систем мониторинга показателей качества электрической энергии в точках своего присоединения к электрическим сетям и на основе их показаний регулярно предъявлять претензии сетевым компаниям для компенсации своих потерь. Сетевые компании будут вынуждены повышать эффективность своих собственных мероприятий по поддержанию нормативного качества электрической энергии, например, в части регулирования величин напряжения и проводить работы по исключению нарушений, обусловленных работой искажающих потребителей. В результате сетевые компании будут заинтересованы в создании систем мониторинга показателей качества электрической энергии на границах с потребителями, например, с нелинейными и несимметричными нагрузками с целью компенсации своих убытков из-за вносимых ими искажений. Соответственно, искажающие потребители, регулярно получая обоснованные финансовые претензии от сетевых компаний, будут вынуждены реализовывать мероприятия по компенсации искажений, генерируемых ими в сеть. Схема процесса представлена на рис. 5.6. На схеме обозначено: КЭ – качество электрической энергии; СИ ПКЭ – средства измерений показателей качества электрической энергии; М – электродвигатель нагрузки. Подобный подход решит вопрос об источниках финансирования работ по мониторингу показателей качества электрической энергии, а мониторинг создаст условия для поддержания в электрических сетях нормативных показателей качества электрической энергии. Предложенная схема мониторинга и взаимодействие на ее основе потребителей и сетевых компаний тесно соприкасаются с вопросами коммерческого учета электрической энергии, метрологических аспектов, процедуры согласования сторонами результатов измерений и т.д. Современные средства измерений позволяют одновременно осуществлять учет электрической энергии и контролировать характеристики ее качества. Соответственно, нужно узаконить эту возможность в нормативно-правовой базе в области учета элек-

трической энергии, создав условия для дальнейшего упрощения и удешевления технологии мониторинга.

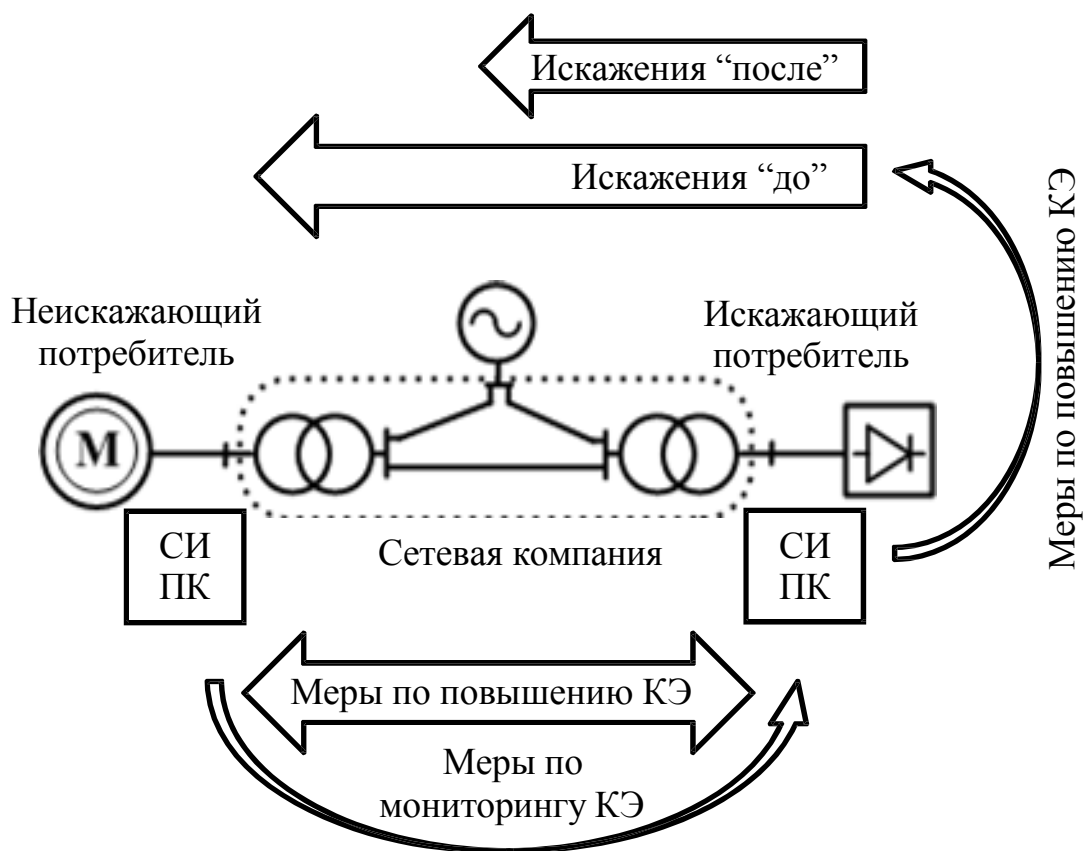


Рис. 5.6. Мониторинг показателей и мероприятия по повышению качества электрической энергии в случае обязательного контроля.

Использование результатов непрерывного мониторинга качества электрической энергии. Создание систем непрерывного мониторинга качества электрической энергии, особенно для разветвленной электрической сети, является дорогостоящим мероприятием. При обосновании затрат электросетевые компании должны четко понимать все возможности предоставляемые системами мониторинга, а также их влияние на повышение качества электрической энергии. В табл. 5.2–5.4 представлены мероприятия по повышению качества электрической энергии в сетях и сокращению числа технологических нарушений на объектах потребителей, которые могут быть разработаны только на основе результатов непрерывного мониторинга. Развитие систем мониторинга показателей качества электрической энергии будет способствовать и совершенствованию нормативной базы по проектированию и эксплуатации энергосистем с

учетом влияния электроустановок электрических сетей и потребителей на качество электрической энергии.

Т а б л и ц а 5.2

Организационные мероприятия

Мероприятия	Комментарии
Побуждение потребителей к разработке мероприятий по повышению устойчивой работы нагрузок	Сетевые компании регулярно сталкиваются с попытками потребителей списывать свои технологические нарушения на качество электрической энергии в питающей сети. Наличие объективных данных о качестве электрической энергии позволит отклонять их необоснованные претензии и побуждать к устранению проблем в собственном электрохозяйстве путем настройки защит, обеспечения электромагнитной совместимости устройств и т.д.
Предъявление претензий потребителям с искажающими нагрузками	Во многих случаях доказать негативное влияние искажающего потребителя на качество электрической энергии в сети можно только на основе длительных измерений в характерных схемах и режимах работы сети. Наиболее показательно изменение качества электрической энергии при отключении нагрузок в послеаварийных или ремонтных режимах, которое только случайно может быть зафиксировано при периодическом контроле. Наличие информации, полученной в результате непрерывного мониторинга показателей, позволит вести аргументированный диалог, вплоть до судебного разбирательства, с целью реализации за счет искажающих потребителей мероприятий по повышению качества электрической энергии

Для проведения всестороннего анализа влияния схемно-режимных условий на качество электрической энергии в электрических сетях кроме результатов измерений показателей необходима также следующая информация:

- состав и время переключений в схеме сети, существенно влияющих на потокораспределение в энергосистеме и изменение ее частотных характеристик в точках контроля качества электрической энергии, в том числе отключение/включение питающих линий электропередачи и трансформаторов с номинальными напряжениями 110 кВ и выше, элементов распределительной сети от точки контроля до шин мощного центра питания;

- состав включенных генераторов электростанций, питающих рассматриваемую энергосистему, время их коммутаций;

- режимы работы основных искажающих потребителей, т.е. графики мощностей, графики фазных токов для несимметричных потребителей и т.д.;
- график нагрузки энергосистемы в целом или рассматриваемой энергосистемы;
- состав и время коммутаций батарей конденсаторов;
- состав и режимы работы статических тиристорных компенсаторов и управляемых шунтирующих реакторов;
- состав и режимы работы устройств РПН трансформаторов, находящихся в работе;
- состав, время коммутаций неуправляемых и режимы работы регулируемых фильтрокомпенсирующих и фильтросимметрирующих устройств;

Т а б л и ц а 5.3

Оперативные технологические мероприятия

Мероприятия	Комментарии
Оптимизация схемы сети	Результаты непрерывного мониторинга показателей качества электрической энергии позволят выявить характерные схемно-режимные ситуации, при которых наблюдается недопустимое снижение качества электрической энергии, и путем оптимизации графиков плановых отключений в сети исключить подобные условия или минимизировать их длительность, а также производить необходимые переключения, способствующие поддержанию качества электрической энергии, например вывод в резерв или вывод из резерва трансформаторов и средств компенсации реактивной мощности, перенос точек деления сети
Оптимизация использования средств регулирования напряжения и компенсации реактивной мощности	Средства регулирования напряжения и компенсации реактивной мощности оказывают существенное влияние на качество электрической энергии. Например, в сетях с высокими уровнями гармоник необходим контроль влияния на них батарей конденсаторов, которые могут приводить к резонансам токов и напряжений. Средства регулирования с нелинейными характеристиками (например, статические тиристорные компенсаторы и управляемые шунтируемые реакторы) также могут способствовать росту уровней гармоник. Результаты непрерывного мониторинга показателей позволят определить допустимые условия использования средств регулирования, исключая или минимизирующие их негативное влияние

Мероприятия по развитию сети

Мероприятия	Комментарии
Выбор параметров средств компенсации реактивной мощности	В сетях с высокими уровнями гармоник сетевые компании регулярно сталкиваются с ситуациями, при которых новые средства компенсации реактивной мощности, в основном батареи конденсаторов, не могут быть включены в работу из-за создаваемых ими резонансов токов или напряжений [18]. Соответственно, возникает необходимость проведения дополнительного проектирования и реконструкции установленного оборудования. Наличие достоверной информации о фактических уровнях искажений во всех характерных режимах, полученной с помощью длительного непрерывного мониторинга, позволит корректно составить техническое задание на проектирование и выбрать правильные параметры средств компенсации без необходимости дополнительных работ и финансирования
Выбор оптимальных мест установки и параметров фильтрокомпенсирующих и фильтросимметрирующих устройств	С учетом повсеместных нарушений требований [2] по качеству электрической энергии, касающихся несинусоидальности и несимметрии напряжений [19], уже в среднесрочной перспективе будут востребованы средства компенсации, которые наряду с компенсацией реактивной мощности должны будут снижать уровни гармоник напряжения и/или напряжений обратной последовательности. В настоящее время подобные устройства в небольшом количестве устанавливаются по принципу «латания дыр» в узлах, в которых либо потребители чаще всего жалуются на низкое качество электрической энергии, либо в узлах, в которых уровни искажений наивысшие по данным периодических измерений. В перспективе это будет приводить к значительным затратам с невысокой эффективностью. Результаты непрерывного мониторинга позволят установить основные причины высоких уровней несинусоидальности и несимметрии напряжений, а также выбрать оптимальные места установки компенсирующих устройств и их параметры (см. разд. 5.4)

– время изменения направления перетока мощности и расположение точек потокоразделов для участков сети с реверсивными перетоками активной мощности.

Влияние перечисленных факторов на качество электрической энергии в точке контроля зависит от структуры и параметров электрической сети, расположения и режимов работы источников гене-

рации, искажающих и неискажающих нагрузок. В настоящее время технология анализа качества электрической энергии в разветвленной электрической сети по данным непрерывного мониторинга показателей представляет собой слабоформализованную инженерную задачу.

Предложения по составу измеряемых параметров при непрерывном мониторинге качества электрической энергии. Для выявления причин снижения качества электрической энергии на границах между электросетевыми компаниями и потребителями недостаточно измерений показателей, установленных в [2]. Из опыта работы может быть рекомендован состав показателей и параметров режима, приведенный в табл. 5.5 и 5.6, как для явления причин снижения качества так и разработки мероприятий по его повышению.

Т а б л и ц а 5.5

Показатели качества электрической энергии и характеристики, установленные в ГОСТе 32144-2013, для измерений при мониторинге

Измеряемый параметр	Обозначение
Отклонение частоты, Гц	Δf
Положительное отклонение фазного (линейного) напряжения, %	$\delta U_{(+)}$
Отрицательное отклонение фазного (линейного) напряжения, %	$\delta U_{(-)}$
Коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности, %	K_{2U}
Коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности, %	K_{0U}
Коэффициент n -й гармонической составляющей напряжения, %	$K_{U(n)}$
Суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения, %	K_U
Кратковременная доза фликера, отн. ед.	P_{St}
Длительная доза фликера, отн. ед.	P_{Lt}
Длительность прерывания фазного напряжения, с	$\Delta t_{пр}$
Остаточное напряжение прерывания, В, кВ	$U_{ост. пр}$
Длительность провала фазного (линейного) напряжения, с	Δt_n
Глубина провала напряжения, В, кВ	δU_n
Остаточное напряжение провала напряжения, В, кВ	$U_{ост. п}$
Длительность перенапряжения, с	$\Delta t_{перU}$
Максимальное напряжение при перенапряжении, В, кВ	$U_{перU}$
Импульсное напряжение, В, кВ	$U_{имп}$

Дополнительные параметры для измерений при непрерывном мониторинге

Измеряемый параметр	Обозначение
Среднеквадратическое значение напряжения, В, кВ	U
Среднеквадратическое значение (фазного, линейного) напряжения основной частоты, В, кВ	$U_{(1)}$
Среднеквадратическое значение (фазного, линейного) напряжения прямой последовательности, В, кВ	U_1
Среднеквадратическое значение напряжения обратной последовательности, В, кВ	U_2
Среднеквадратическое значение напряжения нулевой последовательности, В, кВ	U_0
Среднеквадратическое значение напряжения n -й гармоники, В, кВ	$U_{(n)}$
Среднеквадратическое значение фазного тока, А, кА	I
Среднеквадратическое значение фазного тока основной частоты, А, кА	$I_{(1)}$
Среднеквадратическое значение тока прямой последовательности, А, кА	I_1
Среднеквадратическое значение тока обратной последовательности, А, кА	I_2
Среднеквадратическое значение тока нулевой последовательности, А, кА	I_0
Коэффициент несимметрии токов по обратной последовательности, %	K_{2I}
Коэффициент несимметрии токов по нулевой последовательности, %	K_{0I}
Среднеквадратическое значение фазного тока n -й гармоники, А, кА	$I_{(n)}$
Коэффициент n -й гармонической составляющей тока, %	$K_{I(n)}$
Суммарный коэффициент гармонических составляющих тока, %	K_I
Угол сдвига фаз между напряжением и током, радиан	φ
Угол сдвига фаз между n -ми гармоническими составляющими напряжения и тока, радиан	$\varphi_{(n)}$
Активная фазная (трехфазная) мощность основной частоты, кВт	$P_{(1)}$
Активная трехфазная мощность, кВт	P
Активная мощность прямой последовательности, кВт	P_1
Активная мощность обратной последовательности, кВт	P_2
Активная мощность нулевой последовательности, кВт	P_0

Реактивная фазная (трехфазная) мощность основной частоты, квар	$Q_{(1)}$
Реактивная трехфазная мощность, квар	Q
Реактивная мощность прямой последовательности, квар	Q_1
Реактивная мощность обратной последовательности, квар	Q_2
Реактивная мощность нулевой последовательности, квар	Q_0
Полная трехфазная мощность, кВА	S
Активная мощность n -й гармоники, Вт, кВт	$P_{(n)}$
Активная энергия с учетом гармонических составляющих, кВт·час	W_a
Активная энергия первой гармоники, кВт·час	$W_{a(1)}$
Активная энергия прямой последовательности первой гармоники, кВт·час	$W_{a1(1)}$

В табл. 5.5 приведены показатели качества электрической энергии, установленные в [2] для оценки продолжительных изменений характеристик напряжения, и параметры, характеризующие случайные события. Контроль за показателями позволяет оценить их соответствие нормативным требованиям, а также их зависимость от схем и режимов работы электрических сетей. Дополнительная информация о параметрах токов, напряжений, мощностей позволяет оценивать влияние потребителей в точке присоединения на показатели, характеризующие несинусоидальность и несимметрию напряжений. Некоторые из подобных подходов описаны в [20, 21].

Выбор пунктов измерения при создании стационарных систем мониторинга качества электрической энергии. Оптимизация числа средств измерения и мест их установки при создании систем непрерывного мониторинга качества электрической энергии позволяет существенно сократить затраты. Ниже представлены предложения по выбору пунктов измерения, подготовленные на основе опыта проведения многочисленных периодических измерений показателей качества электрической энергии, а также опыта создания систем непрерывного мониторинга качества электрической энергии в распределительных и магистральных электрических сетях разных напряжений [22–27].

В распределительной сети средства измерений целесообразно устанавливать в следующих пунктах:

1) со стороны основного центра питания – во вводе 6–35 кВ питающего автотрансформатора или трансформатора либо во вводе

фидера, питающего данный участок, при нормальной схеме сети для измерения показателей и параметров, приведенных в табл. 5.5 и 5.6, так как в некоторых случаях это позволит разделить влияние на качество электрической энергии распределительной сети, потребителей и энергосистемы;

2) со стороны резервного центра питания – во вводе 6–35 кВ питающего автотрансформатора или трансформатора либо во вводе фидера, питающего данный участок при характерных ремонтных схемах сети для измерения показателей и параметров, приведенных в табл. 5.5 и 5.6;

3) в присоединениях наиболее мощных потребителей, которые потенциально являются источниками токов и напряжений гармоник и обратной последовательности, для измерения показателей и параметров, приведенных в табл. 5.5 и 5.6;

4) на шинах, от которых питаются потребители, предъявляющие претензии к качеству электрической энергии в электрической сети, но не являющиеся искажающими, с целью оценки объективности претензий для измерения показателей, указанных в табл. 5.5;

5) в наиболее электрически удаленных узлах сети, до которых, как правило, потери напряжения от шин центра питания наибольшие и в которых наименьшие токи короткого замыкания.

Если к электрической сети присоединено большое количество нелинейных и/или несимметричных нагрузок различных потребителей целесообразно выбирать пункты контроля таким образом, чтобы можно было оценить совокупное влияние нагрузок соответствующих контрагентов без выделения вклада отдельных нагрузок. Для искажающего потребителя, подключенного к одним шинам питающей подстанции по нескольким присоединениям или к двум и более шинам, работающим параллельно, целесообразно использовать одно средство измерения с соответствующим числом входов по току. Это позволит оценить результирующее влияние потребителя на качество электрической энергии в питающей сети, которое может быть меньше суммы вкладов от каждого присоединения отдельно, а также снизить стоимость измерительной системы.

Для проведения измерений в магистральной сети целесообразно устанавливать средства измерений в следующих пунктах:

1) во вводах наиболее загруженных линий электропередачи, связывающих энергорайон и соседние энергосистемы или соседние энергорайоны, имеющие мощных промышленных нелинейных и

несимметричных потребителей, что позволит разделить влияние на качество электрической энергии анализируемой сети, потребителей и «соседей», для измерения показателей и параметров, приведенных в табл. 5.5 и 5.6;

2) в присоединениях наиболее мощных потребителей, которые потенциально являются источниками токов и напряжений гармоник и обратной последовательности, для измерения показателей и параметров, приведенных в табл. 5.5 и 5.6, чтобы оценить влияние искажающих нагрузок на качество электрической энергии;

3) во вводах среднего напряжения автотрансформаторов, питающих районы распределительных сетей, к которым присоединены как искажающие нагрузки, так и потребители, предъявляющие повышенные требования к качеству электрической энергии, для измерения показателей и параметров, приведенных в табл. 5.5 и 5.6;

4) на шинах, от которых питаются потребители, предъявляющие претензии к качеству электрической энергии в электрической сети, для измерения показателей, приведенных в табл. 5.5;

5) на отдельных шинах протяженных транзитных линий электропередачи, на которых регулярно (ежесуточно) проходит потокораздел активной мощности, для измерения показателей, приведенных в табл. 5.5, что позволит зафиксировать влияние режимов работы энергосистемы и соответствующих потокораспределений мощности на качество электрической энергии в узлах сети;

6) в конце слабо загруженных протяженных радиальных линий электропередачи, в которых возможны резонансные перенапряжения на частотах гармоник в нормальных или ремонтных схемах сети, для измерения показателей, приведенных в табл. 5.5.

При сравнении сопоставимых вариантов мест установки средств измерения рекомендуется выбирать пункты, расположенные ближе к узлам присоединения средств компенсации реактивной мощности (батарей конденсаторов, управляемых шунтирующих реакторов, статических тиристорных компенсаторов), которые могут оказывать существенное влияние на уровни гармоник в сетях 220 кВ и ниже.

Выше были изложены представления авторов по решению некоторых проблем при создании автоматизированных систем непрерывного мониторинга качества электрической энергии, сформулированные на основе опыта работы. В нашей стране публикации, посвященные мониторингу качества электрической энергии, время от

времени появляются: например, [22–26] и др. Интернет также предлагает не только многочисленные приборы для измерения показателей качества электрической энергии, но и примеры автоматизированных систем. Здесь правомерно также вспомнить об актуальнейшей проблеме создания интеллектуальных электроэнергетических систем, генеральная цель которых – обеспечение качества электрической энергии и надежности электроснабжения потребителей, чего невозможно достичь без непрерывного контроля. Этот вопрос актуален не только с точки зрения потребителей, но и сетевых компаний. Остается добавить, что российская электроэнергетика в создании систем мониторинга качества электрической энергии значительно отстает от зарубежной. Вопросами мониторинга качества электрической энергии за рубежом занимаются уже давно, рассматривая различные аспекты, в том числе законодательно-правовые, нормативные, финансовые, использование полученной информации и мн. др. [27–31]. Ниже представлены некоторые рекомендации по созданию автоматизированных систем непрерывного мониторинга качества электрической энергии из действующего в Европе документа [31].

Европейское «Руководство по применению и использованию систем мониторинга качества напряжения в целях регулирования». В странах Евросоюза вместо термина «качество электроэнергии» используется термин «качество напряжения» [32], поэтому дальше используется последний термин. В [31] речь идет о мониторинге качества напряжения в течение длительного времени, т.е. года и более. Уже в 2011 г. 18 стран Евросоюза имели действующие системы мониторинга качества напряжения на непрерывной основе в одной и более точках. В последнее время количество приборов контроля, эксплуатируемых в распределительных и магистральных сетях, значительно выросло. В [31] на основе информации, получаемой в результате мониторинга качества напряжения, предлагается решать следующие задачи:

- контроль показателей качества напряжения для отдельных участков для сравнения с существующими нормативно-правовыми и лицензионными обязательствами;
- проверка соответствия уровней эмиссии искажений от пользователей сети уровню эмиссии, установленному стандартом или местными правилами;

– мониторинг характеристик системы в целом для получения сведений о средних характеристиках сети, тенденциях во всей сети и на конкретных участках, уровнях напряжений, типах сети и конкретных точках, влиянии распределенной генерации и новых типах потребителей для планирования развития сети и присоединения новых потребителей;

– мониторинг конкретных участков сети в случае жалоб пользователей сетей, а также по требованиям новых потребителей, желающих знать качество напряжения до присоединения к сети и при заключении контрактов в сфере качества напряжения;

– обеспечение сетевых компаний информацией о качестве напряжения для разработки мер по его исправлению;

– использование результатов контроля для соблюдения нормативных требований по качеству напряжения, результатов мониторинга характеристик системы, конкретных участков сети с целью признания существования проблемы качества напряжения;

– применение мониторинга как наиболее точного и надежного способа отслеживания качества напряжения при переходе к интеллектуальным системам, в которых увеличивается количество распределенной генерации, новых типов нагрузок, последствия воздействия которых на качество напряжения трудно предвидеть;

– использование информации для исследований корреляции между измеренными данными, структурой и характеристиками сети, характеристиками нагрузок, распределенной генерацией; влияния на качество напряжения будущих изменений сети, таких как ячеистая структура, изолированные распределительные сети, питаемые только распределенной генерацией и т.д., стоимости напряжения низкого качества и его влияния на срок службы оборудования и установок.

В [31] также указывается, что непрерывный мониторинг будет давать более полное представление о качестве напряжения в каждом месте, будет способен обеспечить информацией о сезонных изменениях, провалах напряжения, перенапряжениях и других относительно редких событиях. Данных, полученных при мониторинге, должно быть достаточно для реагирования на жалобы по поводу качества напряжения без проведения дополнительных измерений, что позволит быстрее реагировать, лучше коррелировать жалобы с уровнем нарушений и исследовать качество напряжения в конкретный момент, например при неправильной работе оборудования. Ин-

формация о качестве напряжения, полученная в результате мониторинга и сохраненная в базе данных, может быть использована для информирования потребителя перед его присоединением к сети для того, чтобы он мог выбрать точку сети с подходящим для него качеством напряжения, чтобы он в случае потенциальной опасности повреждения оборудования по причине низкого качества напряжения мог заранее разработать меры защиты.

В рыночных условиях потребители, пользователи сетей и сетевые операторы могут подписывать контракты по качеству напряжения или соглашения. Вместе с постоянным мониторингом качества напряжения контракты являются дополнительной гарантией для потребителей с чувствительным оборудованием и страховкой. Контракт на качество напряжения может включать для потребителя допустимые пределы эмиссии искажений, а также непрерывный мониторинг качества напряжения.

В [31] рассматривается вопрос финансирования создания автоматизированных систем непрерывного мониторинга качества напряжения. В качестве наиболее подходящего источника указывается тариф сети. Отмечается, что стоимость мониторинга качества напряжения составляет малую долю общих затрат, расходуемых на эксплуатацию электрических сетей, что выгоды получаемые от применения результатов мониторинга, перевешивают все затраты.

5.4. Оценка вклада потребителей и сети в искажение качества электрической энергии с помощью активных энергий гармоник

Традиционные электроэнергетические системы проектируются для работы с синусоидальной формой кривой напряжения. Если в сети имеется нагрузка с нелинейной вольт-амперной характеристикой (нелинейная нагрузка), то она получает активную мощность на основной частоте или на первой гармонике ($n = 1$), часть которой потребляется, а часть преобразуется в активные мощности на других частотах или гармониках ($n > 1$) [33], текущих затем в сеть. Активные мощности гармоник нелинейной нагрузки рассеиваются в сопротивлениях оборудования сети, нагревают его и сокращают срок службы. Активные мощности гармоник из питающей сети также поступают в другие нагрузки вместе с мощностью первой гармоники, оказывая неблагоприятные воздействия на электрооборудование потреби-

лей. Кроме проблем, вызываемых рассеиванием, активные мощности гармоник создают множество других проблем, описанных в большом количестве публикаций [33–39]. В [34] ставится вопрос о дополнительных финансовых потерях питающей сети и потребителей. Вопрос учета электрической энергии при несинусоидальных режимах рассматривается в [35], где указывается на возникающие недоразумения между энергоснабжающими организациями и потребителями при расчетах за электрическую энергию. Счетчики электрической энергии измеряют активную энергию не только первой, но и других гармоник. А так как активная энергия гармоник порядков $n > 1$ не выполняет полезной работы, если только ее специально не используют, то сеть и потребители несут дополнительные расходы при оплате счетов за электрическую энергию. В [39] экономические потери в странах Европы, вызываемые гармониками, оценены в 5,4 % от всех потерь, обусловленных низким качеством электрической энергии. В связи с этим представляется интересным сделать анализ активных мощностей и энергий гармоник в узлах присоединения нелинейных нагрузок к питающей сети. В данном случае анализ будет выполнен по результатам измерений напряжений и токов гармоник в узлах присоединения к сети 220 кВ блока алюминиевого завода и подстанции железной дороги. Эти предприятия имеют электрооборудование большой мощности, являющееся источником гармоник тока. Измерения выполнялись в течение 24 часов с интервалом времени 1 минута. В результате были получены массивы измеренных параметров, состоящие из 1440 элементов.

Теоретические основы анализа. При анализе режимов гармоник питающая сеть и нелинейная нагрузка на n -й гармонике относительно узла присоединения представляются традиционной схемой замещения [33–35, 40], приведенной на рис. 5.7. Рассматриваемые предприятия присоединяются к шинам 220 кВ, которые являются точкой измерений.

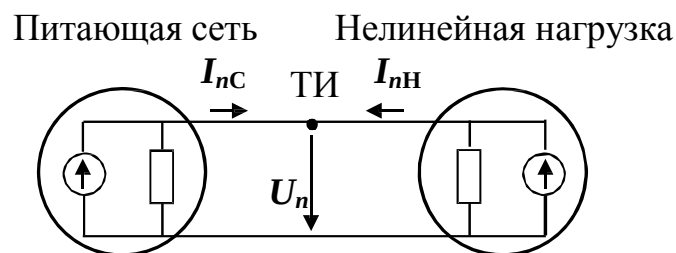


Рис. 5.7. Схема питающей сети и нелинейной нагрузки на n -й гармонике.

На схеме обозначено: ТИ – точка измерений, I_{nC} – вектор тока n -й гармоники питающей сети, I_{nH} – вектор тока n -й гармоники нелинейной нагрузки, U_n – вектор напряжения n -й гармоники в точке измерений. Вектор тока I_{nC} является результирующим вектором тока n -ой гармоники всех нелинейных нагрузок, присоединенных к сети, относительно точки измерений, за исключением вектора тока I_{nH} нагрузки, присоединенной непосредственно к узлу, в котором проводились измерения. Величина и фаза тока I_{nC} зависят от большого числа факторов: волнового эффекта, проявляющегося в длинных линиях электропередачи на частотах гармоник [40]; резонансов, возникающих в сети на некоторых гармониках [33]; величин фазовых углов гармоник токов нелинейных нагрузок, распределенных в сети, с которыми они подтекают в рассматриваемый узел [41]; изменений нагрузки и схемы сети и др. Результирующий вектор тока n -й гармоники I_n в точке измерений определяется векторной суммой токов I_{nC} и I_{nH}

$$I_n = I_{nC} + I_{nH}. \quad (5.1)$$

В результате измерений получены величины токов (I_n), напряжений (U_n) и их фазовых углов (φ_{U_n} , φ_{I_n}). Они используются для вычисления активных мощностей гармоник по [40]

$$P_n = U_n I_n \cos \varphi_n, \quad (5.2)$$

где φ_n – фазовый угол между напряжением и током n -й гармоники, который вычисляется как

$$\varphi_n = \varphi_{U_n} - \varphi_{I_n}. \quad (5.3)$$

Фазовый угол φ_n позволяет определить направление активной мощности n -й гармоники относительно точки измерений. В [42] представлено соглашение о направлениях активных мощностей основной частоты в зависимости от фазового угла. Если фазовый угол φ_n лежит в интервале от 0 до $\pi/2$ или от $3\pi/2$ до 2π , поток активной мощности n -й гармоники направлен из сети в нагрузку, присоединенную к узлу. Узел в таком случае для n -й гармоники является нагрузочным, т.е. потребляет активную мощность n -й гармоники из сети. Если фазовый угол φ_n лежит в интервале от $\pi/2$ до $3\pi/2$, поток активной мощности n -й гармоники направлен из нагрузки в сеть. Тогда узел для n -й гармоники является генерирующим, т.е. генерирует активную мощность n -й гармоники в сеть.

При питании от источника с синусоидальным напряжением в нелинейную нагрузку направлен поток активной мощности первой гармоники $P_{1(+)}$. Большая часть этой мощности потребляется нагруз-

кой для выполнения полезной работы. В [34] предложено называть ее «работающей мощностью» и обозначать P_w . Часть активной мощности первой гармоники преобразуется нелинейной нагрузкой в активные мощности гармоник порядков $n > 1$. Они направлены из нагрузки в сеть $P_{n(-)}$. Активная мощность первой гармоники из сети в нагрузку может быть представлена как

$$P_{1(+)} = P_w + P_{n(-)}. \quad (5.4)$$

Если в сети имеются другие нелинейные нагрузки, то их активные мощности гармоник могут быть также направлены из сети в нагрузку. Обозначим их как $P_{n(+)}$. Номера гармоник активных мощностей $P_{n(-)}$ и $P_{n(+)}$ могут быть разными. Таким образом, через узел течет поток активных мощностей

$$P = P_w + P_{n(+)} + P_{n(-)}. \quad (5.5)$$

Сумму активных мощностей гармоник в обоих направлениях в [34] предложено называть «вредной мощностью» и обозначать P_d . Величина вредной мощности для гармоник от 2 до 40 определяется выражением

$$P_d = \sum_{n=2}^{40} (|P_{n(-)}| + P_{n(+)}). \quad (5.6)$$

Приведенные теоретические положения были использованы для анализа активных мощностей гармоник, протекающих через узлы присоединения блока алюминиевого завода и подстанции железной дороги к сети 220 кВ.

Результаты анализа активных мощностей гармоник. Анализ углов φ_n показал, что в течение измерений для подавляющего числа гармоник их величины находятся в интервале от 0 до 2π . Подобное распределение свидетельствует о том, что активные мощности гармоник, протекающие через узел присоединения нелинейной нагрузки к питающей сети, могут быть направлены как в сеть, так и в нагрузку примерно одинаковое количество времени. Для некоторых гармоник распределение углов φ_n в интервале от 0 до 2π неравномерное. По результатам анализа углов φ_n канонических гармоник для оборудования с 1-фазными 2-пульсными, 3-фазными 6- и 12-пульсными схемами выпрямления, применяющимися на рассматриваемых предприятиях, построены диаграммы времени направления активных мощностей. Они представлены на рис. 5.8. На диаграммах обозначено: $t_{n(-)}$ – время протекания активной мощности n -й гармоники из нагрузки в сеть; $t_{n(+)}$ – время протекания активной мощности n -й гармоники из сети в нагрузку. Время указано в процентах от

времени измерений, равного 24 часам. Из диаграмм видно, что через узлы присоединения рассматриваемых предприятий одну часть времени активные мощности гармоник направлены из нагрузки в сеть, а другую – из сети в нагрузку.

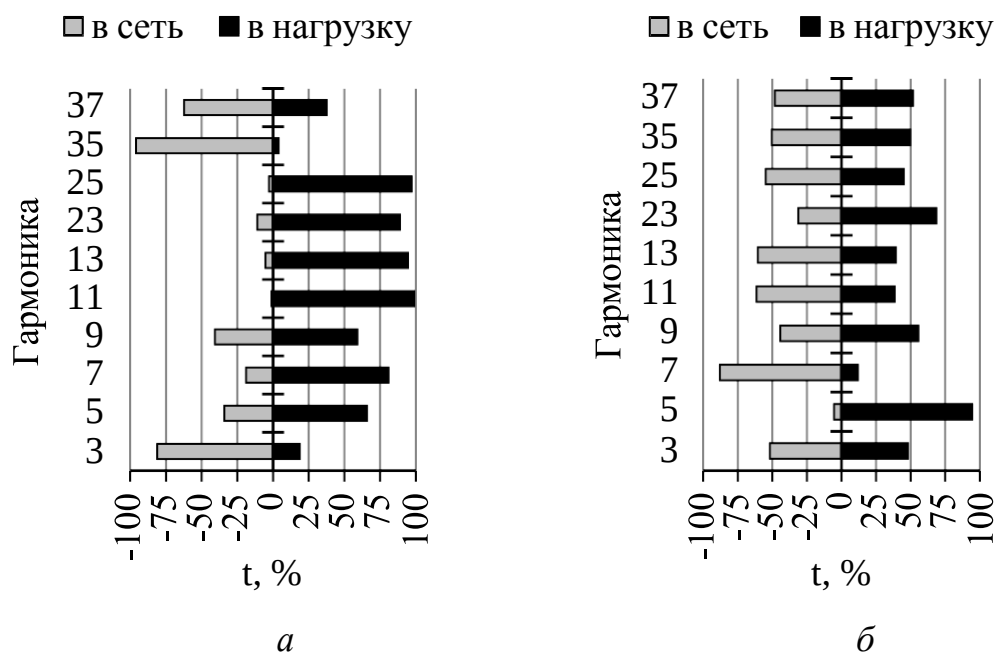


Рис. 5.8. Диаграмма времени протекания $P_{n(-)}$, $P_{n(+)}$ через узлы присоединения блока алюминиевого завода (а) и подстанции железной дороги (б).

Оценки времени протекания активных мощностей некоторых гармоник в нагрузку и в сеть приведены в табл. 5.7. Например, активные мощности 11-й гармоники через узел присоединения блока алюминиевого завода большую часть времени направлены из сети в нагрузку узла, так как их время протекания по фазам А, В, С составляет 92,8 %, 91,3 %, 88,2 % соответственно. Активные мощности 13-й гармоники, наоборот, основную часть времени направлены из нагрузки в сеть. Их время по фазам равно 75,3 %, 81,9 %, 51,9 %. Приведенные здесь и далее числа выделены в табл. 5.7 жирным шрифтом. В результате измерений на одной из подстанций железной дороги установлено, что активные мощности 3-й гармоники в фазах А и В большую часть времени направлены из нагрузки в сеть, т.е. 51,9 % и 53,6 %, а в фазе С – 97,6 % времени из сети в нагрузку. Активные мощности 5-й гармоники по фазам А, В, С направлены из сети в нагрузку в течение 94,6 %, 89,3 % и 70,7 % времени соответственно.

Т а б л и ц а 5.7

Средние значения $P_{n(-)}$, $P_{n(+)}$, Вт и их время протекания $t_{n(-)}$, $t_{n(+)}$, %

Узел	Фаза	Параметр	Гармоника								
			3	5	7	9	11	13	23	25	35
Блок алюминиевого завода	А	$t_{n(-)}$	71,8	44,2	22,3	84,7	7,2	75,3	22,2	46,7	9,1
		$P_{n(-)}$	367	344	193	77	5487	10897	686	587	665
		$t_{n(+)}$	28,2	55,8	77,7	15,3	92,8	24,7	77,8	53,3	90,9
		$P_{n(+)}$	215	373	275	28	17020	5588	1020	558	2192
	В	$t_{n(-)}$	96,7	21,0	49,4	77,4	8,8	81,9	23,6	44,4	10,7
		$P_{n(-)}$	648	372	278	78	5856	19326	540	693	1162
		$t_{n(+)}$	3,3	79,0	50,6	22,6	91,3	18,1	76,4	55,6	89,3
		$P_{n(+)}$	165	581	268	32	17520	7487	748	774	3231
	С	$t_{n(-)}$	70,2	14,4	77,4	93	11,8	51,9	24,7	33,2	11,5
		$P_{n(-)}$	172	213	330	144	7857	8817	766	678	953
		$t_{n(+)}$	29,8	85,6	22,6	7,0	88,2	48,1	75,3	66,8	88,5
		$P_{n(+)}$	94	626	161	33	19940	7950	765	892	2662
Подстанция железной дороги	А	$t_{n(-)}$	51,9	5,4	88,1	44,3	61,5	60,6	31,3	34,1	50,4
		$P_{n(-)}$	1170	1079	348	108	95	56	7	6	4
		$t_{n(+)}$	48,1	94,6	11,9	55,7	38,5	39,4	68,7	65,9	49,6
		$P_{n(+)}$	1066	1158	115	100	68	34	16	16	7
	В	$t_{n(-)}$	53,6	10,7	39,9	45,4	56,3	66,0	46,8	44,2	42,0
		$P_{n(-)}$	1419	405	187	110	93	41	6	5	2
		$t_{n(+)}$	46,4	89,3	60,1	54,6	43,8	34,0	53,2	55,8	58,0
		$P_{n(+)}$	755	1156	282	71	74	18	6	6	2
	С	$t_{n(-)}$	2,4	29,3	84,8	60,3	58,8	54,9	48,1	52,2	50,6
		$P_{n(-)}$	369	559	220	94	53	28	19	13	10
		$t_{n(+)}$	97,6	70,7	15,2	39,7	41,2	45,1	51,9	47,8	49,4
		$P_{n(+)}$	3432	609	109	70	48	25	14	6	3

Величины активных мощностей четных гармоник не превышают 100 Вт. Величины активных мощностей нечетных гармоник достигают десятков киловатт. Средние значения активных мощностей нечетных гармоник в обоих направлениях, на которых чаще всего нарушаются требования к качеству напряжения, установленные в [2], приведены в табл. 5.7. Из таблицы видно, что наибольшие значения имеют активные мощности блока алюминиевого завода на 11-й и 13-й гармониках. Максимальное среднее значение активной мощности 11-й гармоники в фазе С из сети в нагрузку составляет 19940 Вт, 13-й гармоники в фазе А из нагрузки в сеть – 10897 Вт. В узле присоединения подстанции железной дороги средние значения

активных мощностей значительно меньше, чем в узле присоединения блока алюминиевого завода. Наибольшую величину имеют активные мощности 3-й и 5-й гармоник. В фазах А и В их максимальные средние значения в обоих направлениях превышают 1 кВт. Начиная с 11-й гармоники величины мощностей резко уменьшаются.

Чтобы определить преобладающие направления потоков активных мощностей гармоник через узлы присоединения предприятий с точки зрения времени протекания, было вычислено суммарное время для 39 активных мощностей гармоник для каждой фазы в обоих направлениях. Они приведены в табл. 5.8. Из таблицы следует, что через узел присоединения блока алюминиевого завода большую часть времени потоки активных мощностей гармоник направлены в сеть – 1577,7 ч, а через узел присоединения подстанции железной дороги в нагрузку – 1499,3 ч.

Т а б л и ц а 5.8

Суммарные времена протекания $P_{n(-)}$, $P_{n(+)}$, ч

Предприятие	Параметр	Фазы			Суммарное время
		А	В	С	
Блок алюминиевого завода	$t_{n(-)}$	528,6	499,9	549,2	1577,7
	$t_{n(+)}$	407,4	436,1	386,8	1230,3
Подстанция железной дороги	$t_{n(-)}$	407,0	442,8	458,9	1308,7
	$t_{n(+)}$	529,0	493,2	477,1	1499,3

Оценки величин вредных мощностей. Величина вредной мощности для одного измерения, выполненного на интервале времени 1 мин, для 39 гармоник определяется выражением (5.6). Для каждого из 1440 интервалов времени измерений для каждой фазы вредная мощность вычисляется аналогично. Статистические оценки величин вредных мощностей для этих массивов приведены в табл. 5.9. Индексы при P_d обозначают: (–) – мощность направлена в сеть; (+) – мощность направлена в нагрузку; мак, мин, ср – максимальное, минимальное и среднее значения, $\text{мак}\Sigma$, $\text{мин}\Sigma$, $\text{ср}\Sigma$ – суммарные максимальное, минимальное и среднее значения вредных мощностей.

Максимальные величины вредных мощностей ($P_{d\text{мак}(-)}$, $P_{d\text{мак}(+)}$), приведенные в табл. 5.9, достигают нескольких десятков кВт в обоих направлениях. В узле присоединения подстанции железной доро-

ги максимальные значения (выделены жирным шрифтом) очень сильно отличаются от средних значений. Анализ массивов P_d обоих предприятий показал, что среди них имеется несколько элементов, которые по величине очень сильно отличаются от остальных. Они и дают максимальные значения. Подобные элементы в литературе называются аномальными и иногда их заменяют элементами, вычисленными по специальным алгоритмам [43, 44]. В данном случае аномальные элементы оставлены в исходном виде, так как на практике они учитываются счетчиками при измерении электрической энергии. Сопоставление мощностей $P_{dcp(-)}$ и $P_{dcp(+)}$ в табл. 5.9 позволяет сделать вывод, что средние значения мощностей, направленных в нагрузку, больше средних значений мощностей, направленных в сеть.

Т а б л и ц а 5.9

Статистические оценки вредных мощностей, кВт

Параметр	Блок алюминиевого завода			Подстанция железной дороги		
	А	В	С	А	В	С
$P_{d\max(-)}$	55,0	71,4	61,2	15,4	16,8	56,2
$P_{d\min(-)}$	0,1	0,4	0,6	0,0	0,0	0,0
$P_{dcp(-)}$	11,4	19,5	9,0	1,2	1,1	0,7
$P_{d\max(+)}$	59,4	62,8	72,9	54,5	12,0	29,0
$P_{d\min(+)}$	1,5	1,1	1,1	0,0	0,0	0,0
$P_{dcp(+)}$	21,2	22,4	25,9	1,9	1,7	4,0
$P_{d\max\Sigma}$	61,5	75,5	74,9	54,5	17,2	85,2
$P_{d\min\Sigma}$	11,9	15,1	9,0	0,4	0,4	0,3
$P_{dcp\Sigma}$	32,5	42,0	35,0	3,1	2,8	4,6

Предложение по оценке вклада потребителей и сети в искажение качества электрической энергии с помощью активных энергий гармоник. В гл. 2–4 и разд. 5.1–5.3 данной книги указывается на необходимость установления ответственности за ухудшение качества электрической энергии как для электрической сети, так и для потребителей с искажающими нагрузками, генерирующими искажения в сеть. Предлагается определять размер платы за электрическую энергию с учетом ее качества, ввести неустойки для энергоснабжающей организации при подаче энергии ненадлежащего качества, выстраивать договорные отношения на оптовом и розничном рынках электрической энергии с учетом качества электрической

энергии. В разд. 2.4 отмечается, что в течение многих лет идет обсуждение методических подходов к определению долевого вклада искажающего потребителя в суммарные искажения. Предложений было сделано много. Некоторые из них приведены в [20, 21, 45–53]. Из приведенных публикаций видно, что до сих пор данный вопрос остается дискуссионным. Главная причина неудач в решении проблемы заключается в том, что не учитывается и не принимается во внимание вероятностный характер параметров режимов гармоник [54].

Приведенные выше оценки времени протекания и величин активных мощностей гармоник являются случайными величинами. Величины мощностей определяются величинами токов, напряжений, сопротивлений нагрузки и сети на гармонических частотах, зависящих от множества факторов, как указывалось выше, и являющихся случайными величинами. Перечисленные параметры при случайном характере их изменения не позволяют оценить вклад потребителей и сети так, как это предлагается в упомянутых выше публикациях. Необходимо использовать интегральный показатель, зависящий от всех перечисленных параметров. Таким показателем является активная энергия гармоник.

Активные энергии гармоник порядков $n > 1$, которые являются вредными, также как энергия первой гармоники, имеют физический смысл. Они выполняют работу. Но, в отличие от энергии первой гармоники, выполняющей полезную работу, если пренебречь потерями активной энергии при передаче, они выполняют разрушительную вредную работу. В результате этой работы возникает ущерб, который можно оценить экономически. Для оценки величины полезной работы, совершенной активной энергией первой гармоники, используют счетчики электрической энергии, которые измеряют потребленную электрическую энергию первой гармоники, по крайней мере, они предназначены для того, чтобы эту энергию измерять. В действительности, счетчики измеряют электрическую энергию искаженных токов и напряжений. Современные счетчики и приборы для измерения показателей качества электрической энергии отдельно определяют величины электрической энергии первой гармоники и гармоник порядков $n > 1$, т.е. вредную энергию, как суммарную электрических энергий, текущих в обоих направлениях. Чтобы оценить вклад потребителя с искажающей нагрузкой и сети в снижение качества электрической энергии, нужно определять величины энер-

гий отдельно в зависимости от направлений, т.е. электрическую энергию, направленную из питающей сети в нагрузку, и электрическую энергию, направленную из нагрузки в питающую сеть. В результате можно будет определить отдельно вредную электрическую энергию, которую нагрузка генерирует в сеть, и вредную электрическую энергию, которую нагрузка получает из сети.

Оценим вредные активные энергии гармоник, используя полученные выше результаты анализа активных мощностей гармоник в узлах присоединения двух предприятий. Активные энергии гармоник можно вычислить, если принять, что величина активной мощности n -й гармоники на интервале одного измерения длительностью 1 мин остается постоянной. Величину энергии любой гармоники на интервале измерений легко вычислить как произведение величины активной мощности гармоники на длительность этого интервала. В табл. 5.10 приведены вычисленные активные энергии для некоторых канонических гармоник и суммарные энергии для 39 гармоник для трех фаз каждого предприятия за 24 ч измерений. В таблице обозначено: $W_{d(-)}$, $W_{d(+)}$, – активные энергии гармоник, направленные в сеть и в нагрузку соответственно.

Т а б л и ц а 5.10

Вредные активные энергии гармоник, кВт·ч

Предприятие	n	$W_{d(-)}$	$W_{d(+)}$,
Блок алюминиевого завода	11	44,0	1185,0
	13	686,4	157,6
	23	11,3	46,6
	25	19,4	31,8
	35	7,1	173,6
	37	67,2	10,4
	2–40	957,0	1669,7
Подстанция железной дороги	3	33,0	101,2
	5	5,7	61,4
	7	13,6	4,8
	2–40	69,8	181,2

Из таблицы следует, что блок алюминиевого завода за 24 часа генерирует в сеть 686,4 кВт·ч активной энергии 13-й гармоники, но потребляет из сети 1185,0 кВт·ч активной энергии 11-й гармоники. С учетом энергии 39 гармоник блок алюминиевого завода генерирует в сеть 957,0 кВт·ч энергии, но из сети в нагрузку блока поступает

1669,7 кВт·ч вредной энергии. Сравнение суммарных энергий 39 гармоник в двух направлениях, приведенных в табл. 5.10, позволяет сделать вывод, что в данном случае оба предприятия получают из сети больше вредной энергии, чем генерируют в сеть.

При значительном количестве нелинейных нагрузок, присоединенных к сети, предприятие, имеющее нелинейные нагрузки большой мощности, может получать вредной энергии гармоник из сети больше, чем генерировать ее в сеть.

Раздельное измерение вредных активных энергий гармоник в двух направлениях позволит решить вопрос о вкладе предприятия с нелинейными нагрузками в искажение качества электрической энергии. Предприятиям с линейными нагрузками счетчики, измеряющие вредную энергию гармоник, дадут возможность оценить величину вредной электрической энергии, которая им поступает из сети.

Естественно, чтобы улучшить качество электрической энергии, нужно уменьшить количество вредной энергии, генерируемой предприятиями в питающую сеть. Для этого предприятия – источники вредной энергии нужно стимулировать к уменьшению ее генерации в сеть путем введения отдельной платы за эту энергию.

Необходимо также рассмотреть вклад реактивных мощностей и энергий гармоник в снижение качества электрической энергии, энергий обратной последовательности. Для отработки способа оценки вклада в искажение качества электрической энергии, основанного на измерении вредных энергий, можно использовать результаты непрерывного мониторинга параметров режима. Следует отметить, что предложения по использованию энергий гармоник для оценки вклада источника искажений в ухудшение качества электрической энергии уже были сделаны в [55, 56].

5.5. Применение пассивных фильтров для централизованного снижения напряжений гармоник

В разд. 5.3 данной книги отмечается, что «задачи по обеспечению требуемых уровней K_U , $K_{U(n)}$ и K_{2U} практически никогда не ставятся и не решаются». Это реальный факт, несмотря на то что в настоящее время используется большое число электрооборудования с нелинейными вольт-амперными характеристиками различных мощностей в сетях всех напряжений и его количество непрерывно увеличивается. Величины напряжений гармоник часто превышают

пределы, установленные в нормативных документах, что показано в разд. 1.1–1.3 монографии. Технические мероприятия для снижения напряжений гармоник известны. Одним из способов сокращения их величин является применение пассивных фильтров. Если нелинейных нагрузок много и они присоединены в разных узлах сети, то пассивные фильтры могут использоваться для централизованной нормализации напряжений гармоник.

Пассивный фильтр – это устройство, которое состоит из одного или нескольких конденсаторов, реакторов и резисторов [57]. В данном разделе речь пойдет о выборе шунтовых силовых пассивных фильтров. Известно несколько типов пассивных фильтров, отличающихся составом элементов и схемами их соединения. Пассивный фильтр, подключенный к сети, выполняет две функции:

- на основной частоте, т.е. на первой гармонике, он генерирует в сеть реактивную мощность, решая задачу компенсации реактивной мощности;

- на гармонике, на которую настраивается, т.е. гармонике настройки, создает токам путь наименьшего сопротивления для их протекания из сети в фильтр.

Централизованная нормализация напряжений гармоник рассмотрена в [58–63] для распределительных сетей с многочисленными нелинейными нагрузками. Достоинства централизованного подхода отмечены в [58], где авторы показывают, в частности, экономическую эффективность централизованного сокращения напряжений гармоник при организации одного фильтрового центра на первичной стороне. Авторы указанных работ подчеркивают эксплуатационные выгоды централизованного подхода.

Централизованная нормализация предполагает снижение напряжений гармоники одновременно в некотором множестве соседних узлов путем установки фильтра в одном узле [64]. Пассивный фильтр должен изменить сопротивления сети таким образом, чтобы протекание тока гармоники от нелинейных нагрузок в фильтр привело к снижению напряжения гармоники в рассматриваемых узлах. Для обеспечения данного режима на гармонике настройки необходимо найти наиболее подходящий узел для установки фильтра и правильно вычислить параметры его элементов. При централизованном подходе предпочтительно фильтры разных гармоник устанавливать в одних и тех же узлах, стремиться к наименьшему количеству фильтров и узлов, в которых предполагается установить

фильтры, выбирать варианты фильтров, распространяющих свое действие на большее число соседних узлов и снижающих напряжение гармоник на большую величину [64]. Ниже представлен алгоритм централизованного снижения напряжений гармоник в сети с распределенными нелинейными нагрузками с помощью пассивных фильтров.

Алгоритм выбора фильтров. Пусть имеется электрическая сеть с большим количеством нелинейных нагрузок, распределенных по сети. В узлах сети измерены показатели $K_{U(n)}$ [2]. Измеренные $K_{U(n)}$ показывают, что в некоторых узлах нормы, установленные для $K_{U(n)}$ в [2], на нескольких гармониках превышены. До нужных значений величины показателей должны быть снижены с помощью фильтров, установленных в определенных узлах сети.

Выбор фильтров следует осуществлять, начиная с гармоники наименьшего порядка. Выбор фильтра для следующей гармоники выполняется аналогично, но уже с учетом «присоединенного» фильтра предыдущей гармоники. Алгоритм выбора фильтра одной гармоники состоит из нескольких пунктов, которые приведены ниже.

Пункт 1. Формирование массива узлов, в которых должно быть снижено напряжение гармоник. В массив узлов следует включать узлы, принадлежащие одному району сети, т.е. соседние, расположенные близко друг к другу.

Пункт 2. Анализ возможности применения централизованного подхода. Централизованный подход может быть применен не для каждой сети. Если при изменении схемы сети (например, при отключении или включении ее элементов) будет происходить значительное изменение величины или характера входного сопротивления узла, к которому присоединен фильтр, то может оказаться, что фильтр будет работать недостаточно эффективно по сравнению с той схемой сети, для которой выбирался. Может оказаться, что фильтр будет даже ухудшать ситуацию. Поэтому нужно рассмотреть и просчитать все наиболее вероятные схемы сети и режимы нагрузок для анализа входного сопротивления узла, предполагаемого для установки фильтра. Централизованный подход может быть применен, если амплитудно-частотная характеристика входных сопротивлений или проводимостей узлов сети, предполагаемых для установки фильтра, остается стабильной при изменениях схемы и параметров ее элементов.

Пункт 3. Выбор режима сети для расчета параметров фильтра. Под режимом сети для расчета параметров фильтра понимается состояние схемы сети и величин мощностей нагрузок, от которых зависят величины напряжений гармоник в узлах. В качестве такого режима сети может быть принят режим, в котором напряжения гармоник превышены в наибольшем количестве узлов, режим с максимальными величинами напряжений гармоник в узлах или нормальный эксплуатационный режим сети.

Пункт 4. Определение величины реактивной мощности, которую фильтр должен генерировать в сеть на первой гармонике. Фильтр на первой гармонике должен компенсировать недостаток реактивной мощности в сети для поддержания требуемой величины напряжения на первой гармонике. Величина реактивной мощности может быть определена из анализа режима сети на основной частоте, например, с помощью годовых кривых реактивной мощности, потребляемой нагрузкой. Если необходимо установить фильтры нескольких гармоник, то возникает проблема распределения реактивной мощности между фильтрами. В публикациях [65–67] представлены различные подходы к решению этой проблемы: равное распределение реактивной мощности между фильтрами, распределение пропорционально величине общего гармонического тока фильтра и т.д. По мнению автора данного раздела, реактивная мощность должна быть распределена между фильтрами таким образом, чтобы суммарные потери мощности в фильтрах различных гармоник были минимальными, как предлагается в [65].

Пункт 5. Выбор узла для установки фильтра. Имеется несколько различных подходов к выбору узла для установки фильтра, которые представлены в [62, 68, 69]. Авторы названных работ предлагают сложные методы для поиска предпочтительного узла. Мы предлагаем простой способ, названный «пробный фильтр», который отражает сущность фильтра, настроенного на определенную гармонику [70]. Идея «пробного фильтра» основывается на том, что на гармонике настройки фильтр имеет активное сопротивление. Величина активного сопротивления «пробного фильтра» может быть равной 10 или 100 Ом и т.д. Определение узла для установки фильтра может быть выполнено по алгоритму, разработанному на основе «пробного фильтра» [70, 71]. Алгоритм имеет несколько шагов:

1) формируется массив узлов-претендентов для установки фильтра, к которым относятся узлы с высоким уровнем напряжения гармоники;

2) пробный фильтр последовательно устанавливается в каждый из узлов-претендентов, проводится расчет режима сети на гармонике для определения величин остаточных напряжений в узлах, в которых напряжение должно быть снижено в результате установки фильтра, и их суммы

$$\sum_{m=1}^M K_{U(n)m}, \quad (5.7)$$

где M – количество узлов, в которых должно быть снижено напряжение на гармонике настройки; n – номер гармоники настройки;

3) проводится сравнительный анализ сумм остаточных напряжений гармоники для определения узла, имеющего наименьшую сумму, который будет принят для установки фильтра.

Пункт 6. Определение желаемой величины $K_{U(n)}$ для гармоники настройки в узлах сети после установки фильтра. Величины $K_{U(n)}$ имеют нормативные значения, установленные в [2]. Формально достаточно выбрать фильтр таким образом, чтобы после его установки эти значения в сети не были превышены в узлах сети во всех возможных режимах. От величин $K_{U(n)f}$ (индекс « f » указывает на наличие фильтра), которые будут поддерживаться в сети фильтром, будет зависеть его стоимость. В то же время гармоники вызывают многочисленные нежелательные последствия и являются причиной экономического ущерба [72]. Поэтому при оценке желаемой величины $K_{U(n)f}$ необходимо оценивать возможный ущерб от гармоник. Ущерб может быть задан или вычислен путем оценки увеличения потерь мощности и энергии в линиях и трансформаторах при передаче электрической энергии с искаженными параметрами, оценки стоимости поврежденного конденсатора для компенсации реактивной мощности и т.д. Имеется также не прямой ущерб от гармоник в виде ускоренного старения изоляции оборудования, неправильной или ложной работы системной автоматики, релейной защиты, дистанционного управления, повреждения компьютеров, неправильной работы рентгеновского оборудования и др. Этот ущерб также следует принимать во внимание. Таким образом, величина $K_{U(n)f}$ должна быть определена с учетом стоимости создания фильтра и его эксплуатации, а также потенциального ущерба от гармоник. Методику вы-

числения желаемой величины $K_{U(n)f}$ еще нужно разработать. Поскольку в настоящее время такая методика отсутствует, в качестве желаемого значения $K_{U(n)f}$ предлагается принимать величину в интервале 0,5–0,75 от установленного нормативного значения [2].

Пункт 7. Выбор типа фильтра. Существует пять типов шунтовых силовых пассивных фильтров, при определении параметров элементов которых они настраиваются на одну гармонику: фильтр первого порядка, фильтр одночастотный, фильтр второго порядка, фильтр С-типа, фильтр третьего порядка [57]. В сетях низких напряжений обычно применяется фильтр одночастотный, который хорошо подавляет одну гармонику. Фильтр второго порядка имеет большие потери на первой гармонике. Фильтры третьего порядка и С-типа имеют малые потери на первой гармонике. Кроме того, фильтр третьего порядка менее чувствителен к изменениям основной частоты. Для установки в сетях высокого напряжения наиболее подходящими являются фильтры третьего порядка и С-типа. Они подавляют не только ту гармонику, на которую настроены, но и гармоники более высоких порядков. Выбор фильтров С-типа был детально рассмотрен в [64]. Поэтому в данном случае для централизованного применения будет использован фильтр третьего порядка, представленный на рис. 5.9. Фильтр состоит из двух конденсаторов, обозначенных X_{C1} , X_{C2} , реактора (X_L , R_L) и резистора (R). Принимается, что величины R_L и R не зависят от частоты. Обозначим вектор искомых параметров фильтра как $x = (R, X_L, R_L, X_{C1}, X_{C2})^T$, где R , X_L , R_L , X_{C1} , X_{C2} – параметры фильтра на первой гармонике.

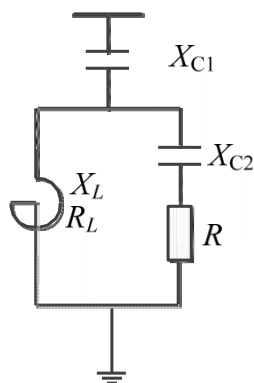


Рис. 5.9. Принципиальная схема фильтра третьего порядка

Пункт 8. Вычисление параметров элементов фильтра. Параметры элементов фильтра, т.е. конденсаторов, реактора и резистора, определяются в результате решения оптимизационной задачи. В [58,

60, 61, 65, 73, 74], которые формулируют оптимизационную задачу, в качестве целевой функции, которая должна быть минимизирована, рассматриваются величины гармоник токов и напряжений, действующее значение тока, стоимость фильтра, потери активной мощности в фильтре и другие параметры. В данной работе параметры элементов фильтра будут выбираться таким образом, чтобы они обеспечили в фильтре минимум потерь активной мощности.

В общем случае целевая функция для минимума потерь активной мощности в фильтре для нескольких гармоник, включая первую, представляется как

$$\sum_{h=1}^H P_h(x) = \min, \quad (5.8)$$

где h – номер гармоники; H – наибольший номер гармоники.

Исследования показывают [73], что потери активной мощности в фильтре третьего порядка на первой гармонике и на гармониках с номерами большими, чем гармоника настройки, являются незначительными по сравнению с потерями на гармонике настройки. Поэтому, в качестве целевой функции рассмотрим минимум потерь активной мощности в фильтре на гармонике настройки, т.е.

$$P_n(x) = \min. \quad (5.9)$$

Пусть фильтр будет установлен в узле k . Потери активной мощности в фильтре могут быть вычислены как

$$P_n(x) = I_{nfk}^2 R_{nf}(x), \quad (5.10)$$

где I_{nfk} – ток n -й гармоники, текущий в фильтр, $R_{nf}(x)$ – активное сопротивление фильтра на n -й гармонике.

Величина I_{nfk} в соответствии с [66] определяется выражением

$$I_{nfk}(x) = \sqrt{\frac{U_{nk}^2}{(R_{nkk} + R_{nf}(x))^2 + X_{nkk}^2}}, \quad (5.11)$$

где U_{nk} – напряжение n -й гармоники в узле k до установки фильтра; R_{nkk} , X_{nkk} – входное активное сопротивление и реактивное сопротивление n -й гармоники сети относительно узла k до установки фильтра.

Активное сопротивление фильтра и реактивное n -й гармоники могут быть выражены через параметры фильтра на первой гармонике как

$$R_{nf} = \frac{R(R_L^2 + n^2 X_L^2) + R_L(R^2 + X_{C2}^2 / n^2)}{(R + R_L)^2 + (nX_L - X_{C2} / n)^2}; \quad (5.12)$$

$$X_{nf} = \frac{nR^2 X_L - R_L^2 X_{C2} / n - nX_L^2 X_{C2} + X_L X_{C2}^2 / n}{(R + R_L)^2 + (nX_L - X_{C2} / n)^2} - \frac{X_{C1}}{n}. \quad (5.13)$$

Учитывая (5.10) и (5.11), выражение для потерь активной мощности принимает следующий вид:

$$P_n(x) = \frac{U_{nk}^2 R_{nf}(x)}{(R_{nkk} + R_{nf}(x))^2 + X_{nkk}^2}. \quad (5.14)$$

Последнее выражение является целевой функцией, которая должна быть минимизирована.

Особые условия, которым должны удовлетворять параметры элементов фильтра, формулируются ниже в виде шести ограничений для целевой функции.

Пассивный фильтр на первой гармонике является источником реактивной мощности. Его реактивное сопротивление на первой гармонике должно быть емкостным. Величина емкостного сопротивления определяется величиной реактивной мощности, генерируемой фильтром в сеть, т.е.

$$X_{1f}(x) + U_{1k}^2 / Q_1 = 0, \quad (5.15)$$

где U_{1k} – величина напряжения первой гармоники; Q_1 – реактивная мощность фильтра на первой гармонике.

Пассивный фильтр на гармонике настройки должен иметь наименьшее сопротивление. Это условие выполняется, если реактивное сопротивление фильтра на гармонике настройки будет равно 0, т.е.

$$X_{nf}(x) = 0. \quad (5.16)$$

Реактивное сопротивление фильтра на гармониках выше номера гармоники настройки должно быть индуктивным для того, чтобы не возникало резонансных контуров с индуктивным сопротивлением сети

$$X_{(n+j)f}(x) > 0, \quad (5.17)$$

где $j = \underline{1}, \underline{H-n}, H$ – наибольший номер гармоники.

Величина $K_{U(n)fi}$ в узлах, в которых напряжение n -й гармоники необходимо уменьшить, должна удовлетворять условиям

$$K_{U(n)\min} - K_{U(n)fi}(x) \leq 0; \quad (5.18)$$

$$K_{U(n)fi}(x) - K_{U(n)\max} \leq 0, \quad (5.19)$$

где $i=\underline{1}, \underline{L}$, L – количество узлов; $K_{U(n)\min}$, $K_{U(n)\max}$ – обе величины меньше допустимых значений $K_{U(n)}$, установленных в [2].

Значение $K_{U(n)fi}$ в соответствии с [2] вычисляется как

$$K_{U(n)fi} = 100U_{nfi} / U_1. \quad (5.20)$$

Вместо напряжения первой гармоники U_1 может быть использовано $U_{ном}$.

Напряжение U_{nfi} определяется из выражения

$$U_{nfi} = U_{ni} - Z_{nik} I_{nfk}, \quad (5.21)$$

где U_{ni} – напряжение n -й гармоники в i -м узле до установки фильтра; Z_{nik} – полное сопротивление n -й гармоники между узлами i и k .

Параметры всех элементов фильтра являются положительными величинами, т.е.

$$R > 0; X_L > 0; X_{C1} > 0; X_{C2} > 0. \quad (5.22)$$

В фильтрах используются специальные реакторы. В [75] автор отмечает, что коэффициент добротности реактора на первой гармонике, т.е. $Q_L = X_L / R_L$, должен лежать в интервале значений 60–100. Таким образом, имеются следующие ограничения:

$$Q_{L\min} - X_L / R_L \leq 0; \quad (5.23)$$

$$X_L / R_L - Q_{L\max} \leq 0. \quad (5.24)$$

В [57] авторы указывают, что в фильтре третьего порядка должно выполняться условие

$$C_1 \gg C_2. \quad (5.25)$$

Если (5.20) переписать как $X_{C2} = mX_{C1}$, то соотношение между емкостями C_1 и C_2 может быть представлено в виде

$$1 < m \leq m_{\max}, \quad (5.26)$$

где $m_{\max} = (R_n^2 n^2 + X_{C1}^2) / (2R_{nf} X_{C1} n)$.

Исследования показывают, что среди значений m существуют такие, при которых реактивное сопротивление фильтра на гармониках выше гармоники настройки будет емкостным, что может привести к резонансному режиму между фильтром и сетью. Резонансные режимы будут невозможны, если

$$m < m_d = [R^2 / (X_L X_{C1})] - 1. \quad (5.27)$$

Окончательно ограничение (5.20) может быть представлено в следующем виде

$$1 - X_{C2} / X_{C1} < 0; \quad (5.28)$$

$$X_{C2} / X_{C1} - m_d \leq 0. \quad (5.29)$$

Для решения сформулированной оптимизационной задачи предлагается двухэтапный алгоритм. Детальное описание алгоритма приведено в [76]. На первом этапе используется метод роя частиц [77], на втором – метод внутренних точек [78]. Решение, полученное на первом этапе, используется в качестве начального приближения для метода внутренних точек. На основе предложенного алгоритма разработана вычислительная программа ФИЛЬТР ТРЕТЬЕГО ПОРЯДКА в системе MATLAB.

Пункт 9. Проверка эффективности работы выбранных фильтров. После определения параметров элементов фильтра необходимо проверить эффективность его работы при различных режимах сети. Если в некоторых случаях фильтр окажется не эффективным, то, возможно, понадобится установка второго фильтра или эти режимы сети следует иметь в виду и принимать меры для их исключения из возможных.

Пример выбора фильтров по представленному алгоритму. Возможность централизованного снижения напряжений гармоник с помощью пассивных фильтров в узлах сети с распределенными нелинейными нагрузками продемонстрируем на примере участка сети 220 кВ длиной около 900 км [64]. Сеть питают 23 тяговые подстанции, которые находятся на расстоянии 40–60 км друг от друга. Два 3-обмоточных трансформатора мощностью 40 МВА установлены на каждой подстанции. Тяговая нагрузка питается от обмотки среднего напряжения 27,5 кВ. Нетяговая нагрузка питается от обмотки низкого напряжения 6,6 (11) кВ. Двигатели постоянного тока электропоездов являются нелинейным оборудованием тяговой нагрузки, они получают электрическую энергию через 1-фазную 2-пульсную схему выпрямления. Несинусоидальный ток, потребляемый двигателем, протекает в питающей сети высокого напряжения. Он вызывает несинусоидальные падения напряжения. В результате форма кривой напряжения в узле присоединения тяговой подстанции к питающей сети оказывается искаженной. Измерения показывают, что искажения напряжения превышают установленные требования [2].

Результаты измерений. Параметры режима и показатели $K_{U(n)}$ были измерены на семи подстанциях. Результаты измерений показывают, что средняя активная мощность тяговой нагрузки составляет 4–8 МВт, реактивной – 15–20 Мвар. Значения $K_{U(3)}$ и $K_{U(5)}$ представлены в табл. 5.11. В таблице приведены нормативные значения для показателей из [2]. Измеренные значения, превышающие нормативные, выделены жирным шрифтом. Из таблицы следует, что нормативные значения $K_{U(3)}$ и $K_{U(5)}$ превышены на четырех подстанциях.

Т а б л и ц а 5.11

Измеренные значения $K_{U(3)}$ и $K_{U(5)}$, %

Показатель	Узел							Норма
	1	2	3	6	12	13	14	
$K_{U(3)}$	0,76	0,84	0,89	1,00	1,71	2,00	2,06	1,50
$K_{U(5)}$	1,34	1,13	1,02	2,32	1,22	2,07	2,27	1,50

Величины $K_{U(3)}$ и $K_{U(5)}$ в узлах присоединения других тяговых подстанций были вычислены с помощью программного комплекса ГАРМОНИКИ. В качестве исходной информации для расчетов использовались результаты измерений токов и напряжений гармоник, информация о конфигурации сети и параметрах ее элементов, составе и мощности нагрузок. Модели тяговых нагрузок разработаны на основе измеренных токов гармоник. Измеренные значения $K_{U(n)}$ были использованы для верификации режима сети. Рис. 5.10 представляет величины $K_{U(n)}$ вычисленные для 23 узлов сети.

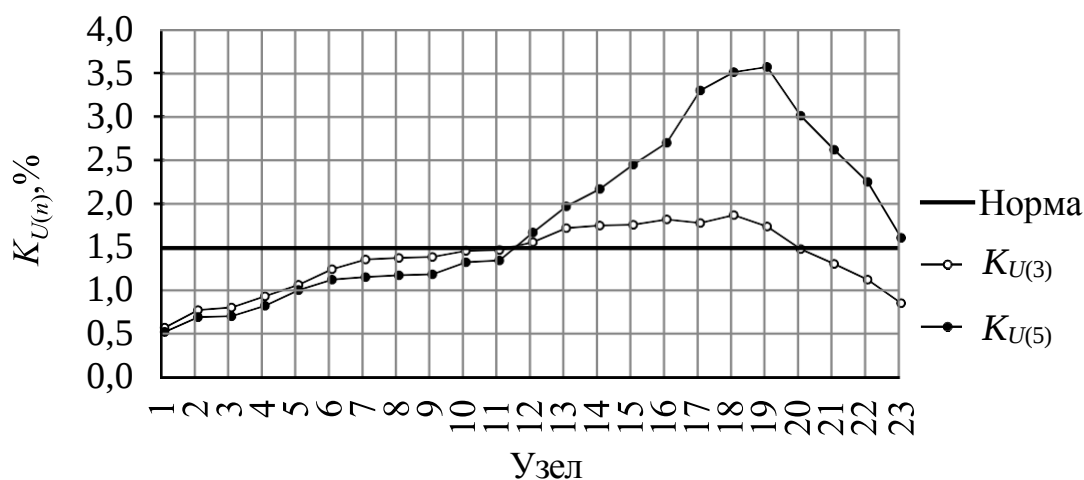


Рис. 5.10. $K_{U(3)}$ и $K_{U(5)}$ в узлах сети без фильтров.

В качестве нормального режима сети принимаем режим, в котором каждый участок сети между двумя узлами питается от двух подстанций. Кривые, приведенные на рисунке, показывают, что значения $K_{U(3)}$ превышают нормы [2] в 7 узлах, $K_{U(5)}$ – в 12. Необходимо выбрать фильтры для снижения $K_{U(3)}$, $K_{U(5)}$ в узлах сети, в которых значения показателей превышают нормы [2]. В качестве примера проведем выбор фильтра третьей гармоники по представленному выше алгоритму.

Пункт 1. Формирование массива узлов, в которых должно быть снижено напряжение третьей гармоники. Массив узлов, в которых должно быть снижено напряжение третьей гармоники состоит из семи узлов с 13 по 19, что хорошо видно на рис. 5.10.

Пункт 2. Анализ возможности применения централизованного подхода для рассматриваемой сети. Каждый участок железной дороги между двумя подстанциями получает электрическую энергию с двух сторон. Иногда, например во время ремонта, такой участок питается с одной стороны. Для анализа возможности применения централизованного подхода необходимо сделать анализ входных проводимостей на третьей гармонике для всех 23 узлов в подобных режимах сети. Входные проводимости узлов были вычислены для 19 возможных режимов с помощью программного комплекса ГАРМОНИКИ. В каждом из режимов отключалась одна из линий между соседними узлами. Оказалось, что в трех режимах величины проводимостей узлов довольно значительно отличаются от величин проводимостей в остальных режимах. Поскольку в подавляющем большинстве режимов величины входных проводимостей отличаются незначительно, то применение централизованного подхода для снижения напряжений третьей гармоники в рассматриваемой сети возможно.

Пункт 3. Выбор расчетного режима сети для вычисления параметров элементов фильтра. Для выбора расчетного режима был сделан анализ величин $K_{U(3)}$ в 19 возможных режимах, о которых шла речь в предыдущем пункте. В качестве расчетного режима может быть принят нормальный режим, когда включены все линии между подстанциями. В подавляющем большинстве режимов значения $K_{U(3)}$ немного отличаются от значений показателя нормального режима.

Пункт 4. Определение величины реактивной мощности, которую фильтр должен генерировать в сеть на первой гармонике.

Определение величины Q_1 требует проведения специальных расчетов, как указывалось выше. В рассматриваемом примере величины Q_1 для вычисления параметров фильтров третьей и пятой гармоник определены в результате анализа измерений потребляемой реактивной мощности на нескольких тяговых подстанциях. В течение суток реактивная мощность изменялась в диапазоне от 1 до 12 Мвар. Приведенные величины измеренных реактивных мощностей позволяют оценить примерную величину реактивных мощностей Q_1 . Для фильтров третьей и пятой гармоник Q_1 принимается равной 4 Мвар.

Пункт 5. Выбор узла для установки фильтра. Для определения узла установки фильтра третьей гармоники используется алгоритм, описанный выше. В табл. 5.12 приведены номера узлов, в которых превышены допустимые значения $K_{U(3)}$. Перечисленные узлы являются претендентами для установки фильтра. В каждый из узлов–претендентов устанавливается пробный фильтр равный 100 Ом, и с помощью программного комплекса ГАРМОНИКИ вычисляются величины $K_{U(3)}$ в каждом из узлов. Вычисленные значения приведены в табл. 5.12. В последней строке таблицы представлены остаточные суммы $K_{U(3)}$. Сумма оказалась наименьшей в узле 17, который принимается для установки фильтра.

Т а б л и ц а 5.12

$K_{U(3)}$ для определения узла установки фильтра, %

Узел	13	14	15	16	17	18	19
13	0,85	0,94	0,95	0,95	1,00	1,08	1,27
14	0,97	0,89	0,95	0,94	1,00	1,08	1,28
15	0,96	0,93	0,94	0,92	0,97	1,04	1,25
16	1,04	0,99	0,99	0,92	0,98	1,06	1,28
17	1,10	1,02	1,00	0,95	0,90	0,92	1,14
18	1,24	1,19	1,16	1,10	1,01	0,86	1,27
19	1,30	1,22	1,17	1,12	0,97	1,02	0,77
$\Sigma K_{U(3)}$	7,46	7,18	7,16	6,9	6,83	7,06	8,26

Пункт 6. Определение желаемой величины $K_{U(3)}$ в узлах сети после установки фильтра. При отсутствии методики для расчета желаемой величины $K_{U(3)}$ после установки фильтра, как было указано выше, принимается, что величины $K_{U(3)}$ должны лежать в интервале от 0,75 до 1,2 %.

Пункт 7. Выбор типа фильтра. Для установки принимаем фильтр третьего порядка, так как у него маленькие потери активной мощности на основной частоте и он менее чувствителен к изменениям основной частоты и отклонениям параметров элементов.

Пункт 8. Вычисление параметров элементов фильтра. Вычисление параметров элементов выполняется с помощью программы ФИЛЬТР ТРЕТЬЕГО ПОРЯДКА. В качестве исходных данных в программе задается следующая информация:

- 1)номер гармоники настройки фильтра: $n = 3$;
- 2)величина реактивной мощности фильтра на первой гармонике: $Q_1 = 4$ Мвар;
- 3)величина добротности реактора: $Q_L = 60$;
- 4)номер узла установки фильтра: $k = 17$;
- 5)матрица входных проводимостей узлов для третьей гармоники, вычисленная с помощью программного комплекса ГАРМОНИКИ;
- 6)напряжение первой гармоники: $U_1 = 220$ кВ;
- 7)величины $K_{U(n)}$ в узлах сети до установки фильтра (вычисленные и измеренные);
- 8)желаемые величины $K_{U(n)f}$ в рассматриваемых узлах сети после установки фильтра в диапазоне 0,75–1,2 от нормативных.

Вычисленные параметры элементов фильтра третьей гармоники приведены в табл. 5.13. Аналогичным образом было определено место установки и вычислены параметры элементов фильтра пятой гармоники. Он выбирался с учетом того, что фильтр третьей гармоники уже установлен в узле 17. Наиболее подходящим узлом для фильтра пятой гармоники оказался узел 17. Параметры элементов фильтра пятой гармоники приведены в табл. 5.13.

Т а б л и ц а 5.13
Параметры элементов фильтров, Ом

Параметр	n	
	3	5
R	18505,0	7791,2
R_L	29,4	9,5
X_L	1469,6	473,0
X_{C1}	13573,8	12574,2
X_{C2}	509552,3	189707,5

Пункт 9. Проверка эффективности работы фильтров. Проверка эффективности работы, выбранных фильтров, была выполнена для 19 режимов сети, рассмотренных выше. На рис. 5.11 приведены величины $K_{U(3)}$ и $K_{U(5)}$ после установки фильтров, вычисленные с помощью программного комплекса ГАРМОНИКИ, для расчетного режима. На рисунке также приведено нормативное значение для показателей для 95 % времени измерений, установленное в [2].

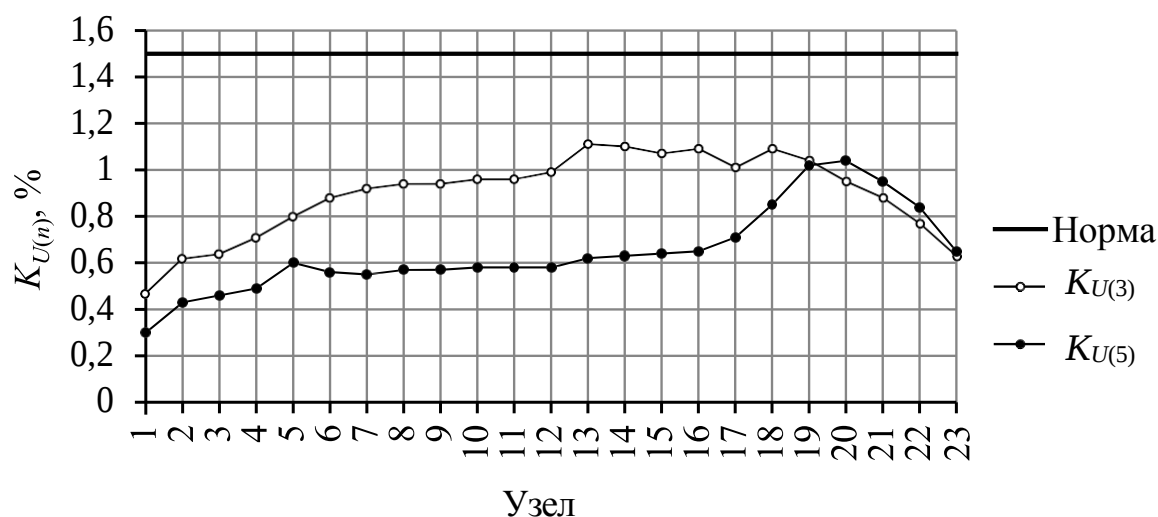


Рис. 5.11. $K_{U(3)}$ и $K_{U(5)}$ в узлах сети с фильтрами.

Оказалось, что в остальных 18 режимах сети для большинства режимов величины $K_{U(3)}$ и $K_{U(5)}$ в узлах меньше нормативного значения. Только в некоторых из них фильтр оказывается не абсолютно эффективным. Величина $K_{U(3)}$ превышает норму для 95 % времени измерений в одном из узлов в трех режимах. Величина $K_{U(5)}$ превышает норму во 2-м режиме в узлах 19 и 21, в 3-м режиме в узлах 18, 19, 21, 22, в 17-м – в узле 20. Для этих режимов сети необходимо принимать специальные меры.

Таким образом, результаты расчетов показывают, что централизованное снижение напряжений гармоник в сети с многочисленными распределенными нелинейными нагрузками возможно и применение фильтра третьего порядка является эффективным средством централизованного снижения напряжений гармоник.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основе анализа результатов измерений показателей качества электрической энергии приходится констатировать, что нарушения требований ГОСТа 32144–2013 имеют массовый и систематический характер во всех энергосистемах России. Неудовлетворительные значения показателей $\delta U_{(-)}$ и $\delta U_{(+)}$, характеризующие отклонение величины напряжения, как правило, наблюдаются в дефицитных энергосистемах с протяженными электрическими сетями и недостаточным количеством средств компенсации реактивной мощности. Большие значения показателей K_U и $K_{U(n)}$, характеризующих несинусоидальность напряжения, наблюдаются в электрических сетях, питающих электрифицированную железную дорогу переменного тока, алюминиевые заводы и крупные металлургические предприятия. Измеренные коэффициенты гармонических составляющих тока $K_{I(n)}$ и K_I в линиях электропередачи 110 кВ свидетельствуют о том, что большое количество присоединений работает с высокими значениями, вследствие чего в элементах электрической сети возникают добавочные потери. Нарушения показателя K_{2U} , характеризующего несимметрию напряжения, имеют место в электрических сетях, питающих электрифицированную железную дорогу переменного тока. Следует подчеркнуть, что вопросам качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения не уделяется должного внимания ни на этапе проектирования, ни на этапе эксплуатации. Задачи по обеспечению требуемых уровней K_U , $K_{U(n)}$ и K_{2U} практически никогда не ставятся и не решаются.

2. Главная причина проблем в области качества электрической энергии состоит в несовершенстве нормативно-правового регулирования. В настоящее время три федеральных законодательных документа содержат положения о необходимости обеспечения требуемого качества электрической энергии и ответственности за него: Гражданский кодекс РФ от 30.11.1994 г. № 51–ФЗ, Закон РФ от 7.02.1992 г. № 2300–1 «О защите прав потребителей», Закон РФ от 26.03.2003 г. № 35–ФЗ «Об электроэнергетике». Но сами обязательные требования к качеству электрической энергии на законодательно-правовом уровне не установлены. Существующая ситуация возникла после принятия Федерального закона от 27.12.2002 г. № 184–ФЗ «О техническом регулировании», в соответствии с кото-

рым государственные стандарты стали документами добровольного исполнения, а обязательные для применения и исполнения требования должны быть установлены техническими регламентами. Таким образом, требования к качеству электрической энергии, устанавливаемые ГОСТом 32144–2013, в настоящее время являются необязательными к исполнению, а технический регламент, в котором на электрическую энергию как объект технического регулирования должны быть установлены обязательные требования, отсутствует. Следует отметить, что в Федеральном законе «О техническом регулировании» предусматривалась разработка общего технического регламента «Об электромагнитной совместимости», в который, как предполагали специалисты, будут включены обязательные требования к качеству электрической энергии. К сожалению, приходится констатировать, что на настоящий момент Федеральный закон «О техническом регулировании» в части разработки общего технического регламента «Об электромагнитной совместимости» не исполнен. После отмены обязательного исполнения требований к качеству электрической энергии, установленных в государственном стандарте, качество электрической энергии ухудшилось, количество проблем возросло. В то же время качество электрической энергии определяет меру опасности этой продукции для жизни и здоровья граждан, имущества и природной среды в соответствии с Законом «О техническом регулировании». Следовательно, необходимы разработка и принятие правовым актом технического регламента, посвященного качеству электрической энергии, в котором должны быть установлены обязательные требования к качеству электрической энергии и формы обязательного подтверждения соответствия этим требованиям.

3. Необходимо развитие нормативно-правовой базы, направленной на повышение мотивации субъектов электроэнергетики реализовывать мероприятия по улучшению качества электрической энергии и на усиление ответственности потребителей за искажения, генерируемые ими в сети. При этом следует учитывать, что значения показателей, характеризующих несинусоидальность, несимметрию и колебания напряжения, зависят не только от уровней искажений, создаваемых электроустановками потребителей, но и от сопротивлений электрической сети, к которой присоединены электроустановки. Таким образом, в рамках государственного регулирования необходимо разграничение обязанностей и ответственности субъектов

электроэнергетики и потребителей за поддержание качества электрической энергии в системе «сетевые организации различного уровня – потребители».

В настоящий момент отсутствует нормативно-правовая база для установления требований к потребителям, искажающим качество электрической энергии, и позволяющая сетевым организациям корректно определять условия их технологического присоединения к электрической сети и решать проблемы качества электрической энергии. Необходимы разработка правил присоединения искажающих потребителей с методическими указаниями, определением форм и схем оценки соответствия электрической энергии установленным требованиям, методик определения долевого вклада отдельных искажающих потребителей в суммарные искажения электрической энергии.

4. В правовом регулировании отношений сторон по договору энергоснабжения о поставке электрической энергии в части соблюдения требований к качеству поставляемой энергии существует несколько проблем. Прежде всего отсутствуют утвержденные методики определения размера гражданско-правовой ответственности за нарушение требований к качеству электрической энергии в денежном выражении. Поэтому первоочередной задачей является разработка строго научных методов (методик), позволяющих судебным экспертам производить объективные расчеты сумм неосновательного обогащения, получаемого потребителями электрической энергии при использовании энергии ненадлежащего качества. Другой проблемой является определение размера убытков, причиненных лицами, нарушившими требования к качеству подаваемой энергии. Действенным способом понуждения энергосбытовых организаций к исполнению ими своей обязанности по поставке энергии надлежащего качества могло бы стать установление в договоре энергоснабжения неустойки за нарушение условий договора о качестве энергии в виде пени или штрафа. Для решения задачи привлечения к гражданско-правовой ответственности лиц, виновных в нарушении требований государственных стандартов к качеству поставляемой энергии, требуется разработка единых научных методик и рекомендаций для судебных экспертов, позволяющих с достаточной степенью достоверности установить стоимость вынужденно потребленной потребителями энергии низкого качества, а также размер ущерба, причиненного их имуществу, включая скрытый ущерб, связанный с сокращением

ем срока службы энергопотребляющих приборов и оборудования, подключенного к сети, в которой показатели качества энергии не соответствуют требованиям ГОСТа 32144–2013, но не выходят за критические значения, приводящие к мгновенному отключению или выходу из строя энергопотребляющих приборов и оборудования потребителей. В целях повышения ответственности энергоснабжающих организаций за нарушение требований к качеству подаваемой энергии в условиях опережающего роста тарифов потребителям рекомендуется настаивать, в том числе в судебном порядке, на включении в договор энергоснабжения условия об обязанности энергоснабжающей организации уплачивать неустойку за подачу энергии ненадлежащего качества. Необходимо разработать методические указания, позволяющие определять размер неустойки в зависимости от вида и характеристик энергопотребляющих приборов и оборудования потребителей таким образом, чтобы неустойка безусловно покрывала затраты потребителя на установку необходимых защитных устройств и источников бесперебойного питания, а также дополнительные расходы, связанные с сокращением срока службы приборов и оборудования по причине ненадлежащего качества поставляемой электрической энергии.

5. Анализ ситуации в области качества электрической энергии позволяет сделать вывод о наличии различных интересов субъектов электроэнергетики, что препятствует совместному контролю и обеспечению надлежащего качества электрической энергии с учетом вклада каждого субъекта. Для решения задачи обеспечения качества электрической энергии в сетях России необходимо создание единой системы обеспечения качества электрической энергии, для формирования которой нужно разработать правовые и нормативно-технические документы по построению и функционированию системы обеспечения качества электрической энергии, сформировать бизнес-процессы по управлению качеством электрической энергии и определить/закрепить понятные механизмы ответственности всех субъектов электроэнергетики от источников генерации до потребителей.

6. В современных условиях важнейшим элементом системы управления качеством электрической энергии являются системы непрерывного мониторинга показателей качества электрической энергии и параметров режима сети. Для этого необходимо нормативно закрепить возможность создания подобных систем прежде всего на

границах между сетевыми компаниями и потребителями. Сетевым компаниям мониторинг позволит оперативно разрабатывать организационные и технические мероприятия по повышению качества электрической энергии на основе данных, получаемых в режиме реального времени, а также выявлять потребителей, вносящих искажения в сеть. Для потребителей непрерывный мониторинг показателей качества электрической энергии позволит сформировать доказательную базу для претензионной работы в случае причинения им материального ущерба по причине неудовлетворительного качества электроснабжения. Для эффективной работы систем мониторинга нужно создать программные комплексы автоматизированного анализа огромного количества данных о показателях качества электрической энергии и параметрах режима. Существует необходимость разработки методик по оценке влияния электрической энергии низкого качества на срок службы оборудования, оценке потерь напряжения в сетях с несимметричной нагрузкой и др.

7. В настоящее время остается актуальной неоднократно поднимавшаяся проблема нормативно-технических документов. Необходимо провести анализ действующих стандартов в области качества электрической энергии и их корректировку с целью гармонизации, а также совершенствования действующих стандартов с учетом накапливаемого опыта их применения, разработку нормативного документа, устанавливающего показатели и нормы для сетей напряжением выше 220 кВ, развитие методического обеспечения для систем мониторинга качества электрической энергии.

8. Текущий уровень развития техники позволяет повысить качество электрической энергии, что подтверждается зарубежным опытом. Следует особо отметить отсутствие нарушений требований ГОСТа 32144–2013 по отклонению частоты напряжения благодаря системному подходу к решению задачи повышения качества регулирования частоты в ЕЭС, реализуемому в течение последних 15 лет, что позволяет считать достижимым обеспечение надлежащего качества электрической энергии и по другим показателям.

Библиографический список

Введение

1. ГОСТ 32144–2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: Стандартинформ, 2014.
2. Добрусин Л.Н. Проблема качества электроэнергии и электросбережения в России // Энергоэксперт. – 2008. – № 4 (9). – С. 30–35.
3. Федеральный закон РФ от 27.12.2002 г. №184–ФЗ «О техническом регулировании».
4. Федеральный закон РФ от 26.03.2003 г. № 35–ФЗ «Об электроэнергетике».
5. Правила присоединения потребителей к сети общего назначения по условиям влияния на качество электроэнергии // Промышленная энергетика. – 1991. – № 8. – С. 45–48.
6. Правила применения скидок и надбавок к тарифам за качество электроэнергии // Промышленная энергетика. – 1991. – № 8. – С. 49–51.

Глава 1

1. Федеральный закон РФ от 27.12.2002 г. №184–ФЗ «О техническом регулировании».
2. Добрусин Л.А. Проблема качества электроэнергии и электросбережения в России // Энергоэксперт. – 2008. № 4(9). – С. 30–35.
3. Боровиков В.С., Волков М.В., Иванов В.В. и др. Режимные свойства электрических сетей 110 кВ юга России в обеспечении эффективности транспорта электроэнергии. – Томск: Изд-во. Том. политех. ун-та, 2013.
4. ГОСТ 32144–2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: Стандартинформ, 2014.
5. Правила устройства электроустановок. 7-е изд. ЗАО «Энергосервис». – М., 2004.
6. Схема и программа развития электроэнергетики Забайкальского края на период 2015 – 2019 гг.: Пояснительная записка 01.14. – ЭЭС. – Чита, 2014.
7. Создание Забайкальского преобразовательного комплекса вышло на финишную прямую – СТАТКОМ № 1 вышел на номинальный режим передачи мощности. – Режим доступа: <http://www.elec.ru/news/2014/08/15/sozdanie-zabajkals-kogo-preobrazovatel'nogo-kompleks.html>.

8. *Протокол № 3* претензионных испытаний электрической энергии по показателям качества. Филиал ОАО «МРСК Сибири» – «Читаэнерго» / Испытательная лаборатория по качеству электрической энергии. – Чита, 2013.
9. *Протокол № 4* претензионных испытаний электрической энергии по показателям качества. Филиал ОАО «МРСК Сибири» – «Читаэнерго» / Испытательная лаборатория по качеству электрической энергии. – Чита, 2012.
10. *Протокол № 5* претензионных испытаний электрической энергии по показателям качества. Филиал ОАО «МРСК Сибири» – «Читаэнерго» / Испытательная лаборатория по качеству электрической энергии. – Чита, 2012.
11. *Протокол № 5* претензионных испытаний электрической энергии по показателям качества. Филиал ОАО «МРСК Сибири» – «Читаэнерго» / Испытательная лаборатория по качеству электрической энергии. – Чита, 2013.
12. *Протокол № 6* Претензионных испытаний электрической энергии по показателям качества. Филиал ОАО «МРСК Сибири» – «Читаэнерго» / Испытательная лаборатория по качеству электрической энергии. – Чита, 2012.
13. Харлов Н.Н., Боровиков В.С. Итоги обследования режимов распределительных электрических сетей Сибири и юга России // Сб. ст. Всеросс. конф. «Энергетика России в XXI веке. Инновационное развитие и управление», 1–3 сентября 2015 г., Иркутск / ИСЭМ СО РАН. – Иркутск, – 2015. – С. 183–188.
14. ГОСТ Р 53333–2008. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Контроль качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: Стандартинформ, 2009.
15. *Типовая* программа проведения энергетических обследований подразделений электрических сетей АО–Энерго: РД 153–34.3–09.166–00 / ОРГРЭС. – М., 2000.
16. ГОСТ 33073–2014. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Контроль и мониторинг качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: Стандартинформ, 2014.
17. Боровиков В. С., Харлов Н. Н., Акимжанов Т. Б. О необходимости включения добавочных потерь от высших гармоник тока в технологические потери при передаче электрической энергии // Изв. Том. политех. ун-та. – Томск, 2013. –Т. 322. – № 4. – С. 91–93.
18. Боровиков В.С., Волков М.В., Иванов В.В и др. Опыт корпоративного обследования электрических сетей 110 кВ Сибири. – Томск: Изд-во Том. политех. ун-та, 2010.
19. *Свидетельство* № 2014619784. Расчет добавочных потерь в одно- и двухцепных линиях электропередачи // Харлов Н.Н., Боровиков В.С., Акимжанов Т.Б.; заявитель и правообладатель «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»; № 2014617803; заявлено 06.08.2014 г.; опубл. 22.09.2014.

20. Харлов Н.Н., Боровиков В.С., Литвак В.В. Энергетическое обследование несинусоидальных режимов многопроводных линий электропередачи // Электричество. – 2011. – № 12. – С. 12–15.
21. Арриллага Дж. и др. Гармоники в электрических системах. – М.: Энергоатомиздат, 1990.
22. Rylander M., Grady W.M., Narendorf M. Experimental Apparatus, Testing Results, and Interpretation of the Impact of Voltage Distortion on the Current Distortion of Typical Single-Phase Loads // IEEE Transactions on Power Delivery. – Vol. 24, No. 2, April 2009. – P. 844–851.
23. Mansoor A., Grady W.M., Thallam R.S. et al. Effect of supply voltage harmonics on the input current of single-phase diode bridge rectifier loads // IEEE Transactions on Power Delivery. – Vol. 10. No. 3, Jul 1995. – P. 1416–1422.
24. Yanchenko S., Meyer J. Harmonic emission of household devices in presence of typical voltage distortions // IEEE PowerTech, Eindhoven, Netherlands, June 2015. – P. 189–195.
25. Янченко С.А. Анализ гармонической эмиссии распространенных видов современных бытовых нелинейных электроприемников // Промышленная энергетика. – 2014. – № 8. – С. 46–55.
26. ГОСТ 30804.3.2 – 2013. Совместимость технических средств электромагнитная. Эмиссия гармонических составляющих тока техническими средствами с потребляемым током не более 16 А (в одной фазе). Нормы и методы испытаний. – М.: Стандартинформ, 2014.
27. Евсеев Ю.А. и др. Симисторы и их применение в бытовой электроаппаратуре. – М.: Энергоатомиздат, 1990.
28. Singh G., Collins E.R. Influence of auxiliary winding resonance on the harmonic behavior of single phase capacitor motors // IEEE PES General Meeting, Conference & Exposition, National Harbor, MD, 2014. – P. 1–5.
29. Янченко С.А., Цырук С.А. Явления компенсации высших гармоник тока при питании групп бытовых нелинейных электроприемников // Промышленная энергетика. – 2014. – № 1. – С. 32–38.
30. Rawa M.J.H., Thomas D.W.P., Sumner M. Experimental Measurements and Computer Simulations of FL and CFL for Harmonic Studies, 16th International Conference on Computer Modelling and Simulation (UKSim), UKSim-AMSS. – Cambridge, 2014. – P. 335–339.
31. Mader U., Horn P. A dynamic model for the electrical characteristics of fluorescent lamps // IEEE Industry Applications Society Annual Meeting. – Houston, TX, USA, 1992. – Vol. 2. – P. 1928–1934.
32. Blanco A.M., Yanchenko S., Meyer J., Schegner P. Impact of supply voltage distortion on the current harmonic emission of non-linear loads, Dyna, Vol. 82, Issue 192, August 2015. – P. 150.
33. Sekine M., Ribarich T. CFL ballast design using passive PFC and crest factor control, IR Corp., Inglewood, CA. – Режим доступа: <http://www.irf.com/technical-info/appnotes/an-1157.pdf>.

34. Moore P.J., Portugues I.E. The influence of personal computer processing modes on line current harmonics // IEEE Transactions on Power Delivery. – Vol. 18. No. 4, Oct. 2003. – P. 1363–1368.

35. Краснопольский А.Е. и др. Пускорегулирующие аппараты для разрядных ламп. – М.: Энергоатомиздат, 1988.

36. Yanchenko S. Harmonic phenomena of typical low-distortion residential equipment, International Conference on Industrial Engineering. – Chelyabinsk, 2016. – P. 145–149.

37. Семенов Г.С. Ремонт микроволновых печей. – М.: СОЛОН-Пресс, 2003.

38. Ahmed E.E., Xu W., Zhang G. Analyzing systems with distributed harmonic sources including the attenuation and diversity effects // IEEE Transactions on Power Delivery. – Vol. 20, No. 4, 2005. – P. 2602–2612.

Глава 2

1. Гражданский кодекс Российской Федерации от 21.10.1994 г. № 14–ФЗ (ред. от 03.07.2016 г.).

2. Соколов В.С., Ермилов М.А., Серков А.В. и др. Проблемы установления размера ответственности за ухудшение качества электрической энергии и пути их решения // Промышленная энергетика. – 2000. – № 8. – С. 52–54.

3. Инструкция о порядке расчетов за электрическую и тепловую энергию, утв. Минтопэнерго России и Госкомцен России от 30.11.1993 г. № ВК–7539, 01–17/1443–11 (зарегистрирована Минюстом России 28 декабря 1993 г., регистрационный № 449).

4. Постановление Верховного Суда РФ от 24.03.2016 г. № 7 «О применении судами некоторых положений Гражданского кодекса Российской Федерации об ответственности за нарушение обязательств».

5. Федеральный закон РФ от 31.05.2001 г. № 73–ФЗ «О государственной судебно-экспертной деятельности в Российской Федерации».

6. Постановление Правительства РФ от 06.05.2011 г. № 354 «О предоставлении коммунальных услуг собственникам и пользователям помещений в многоквартирных домах и жилых домов» (вместе с «Правилами предоставления коммунальных услуг собственникам и пользователям помещений в многоквартирных домах и жилых домов») (ред. от 29.06.2016 г.).

7. ГОСТ 13109–97. Электрическая энергия. Совместимость электрических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. ИПК. Издательство стандартов. – М.: 2005.

8. ГОСТ 29322–92. Стандартные напряжения. ИПК. Издательство стандартов, – М.: 2005.

9. ГОСТ 32144–2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: Стандартинформ, 2014.

10. *Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях* от 30.12.2001 г. № 195–ФЗ.

11. ГОСТ 33073–2014. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Контроль и мониторинг качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: Стандартинформ, 2014.

12. РД 153–34.0–15.501–00. Методические указания по контролю и анализу качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Ч. 1: Контроль качества электрической энергии. Утв. Госэнергонадзором 27.12.2000 г.

13. РД 153–34.0–15.502–2002. Методические указания по контролю и анализу качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Ч. 2: Анализ качества электрической энергии. Утв. Госэнергонадзором 15.07.2002 г.

14. ГОСТ Р 53333–2008. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Контроль качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: Стандартинформ, 2009.

15. ГОСТ Р 51317.4.15–99. Совместимость технических средств электромагнитная. Фликерметр. Технические требования и методы испытаний. – М.: Гостандарт России, 2009.

16. *Никифоров В.В.* Новый стандарт по качеству электрической энергии ГОСТ Р 54149–2010. Связь с действующим ГОСТ 13109–97 и европейским стандартом EN 50160–2010 и основные отличия // Сб. докл. 4-й Всеросс. науч.-техн. конф. «Метрология. Измерения. Учет и оценка качества электрической энергии». С.-Петербург, 10–13 мая 2011 г.

17. ГОСТ 32145–2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Контроль качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: Стандартинформ, 2014.

18. ГОСТ 30804.4.30–2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Методы измерений показателей качества электрической энергии. – М.: Стандартинформ, 2014.

19. ГОСТ Р 8.689–2009. Национальный стандарт Российской Федерации. Государственная система обеспечения единства измерений. Средства измерений показателей качества электрической энергии. Методы испытаний. – М.: Стандартинформ, 2009.

20. ГОСТ Р 8.655–2009. Национальный стандарт Российской Федерации. Государственная система обеспечения единства измерений. Средства измерений показателей качества электрической энергии. Общие технические требования. – М.: Стандартинформ, 2009.

21. IEC/TR 61000–3–6:2008. Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3–6: Limits – Assessment of emission limits for the connection of distorting installations to MV, HV and EHV power systems.

22. IEC/TR 61000–3–7:2008. Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3–7: Limits – Assessment of emission limits for the connection of fluctuating installations to MV, HV and EHV power systems.

23. IEC/TR 61000–3–14:2011. Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3–14: Assessment of emission limits for harmonics, interharmonics, voltage fluctuations and unbalance for the connection of disturbing installations to LV power systems.

24. ГОСТ 30804.3.2–2013 (IEC 61000–3–2:2009). Совместимость технических средств электромагнитная. Эмиссия гармонических составляющих тока техническими средствами с потребляемым током не более 16 А (в одной фазе). Нормы и методы испытаний. – М.: Стандартинформ, 2014.

25. ГОСТ Р 51317.3.4–2006 (МЭК 61000–3–4–1998). Совместимость технических средств электромагнитная. Ограничение эмиссии гармонических составляющих тока техническими средствами с потребляемым током более 16 А, подключаемыми к низковольтным системам электроснабжения. Нормы и методы испытаний. – М.: Стандартинформ, 2006.

26. ГОСТ 30804.3.12–2013. Совместимость технических средств электромагнитная. Ограничение гармонических составляющих тока, создаваемых техническими средствами с потребляемым током более 16 А, но не более 75 А (в одной фазе), подключаемыми к низковольтным системам электроснабжения общего назначения. Нормы и методы испытаний. – М.: Стандартинформ, 2014.

27. ГОСТ 30804.3.3–2013. Совместимость технических средств электромагнитная. Ограничение изменений напряжения, колебаний напряжения и фликера в низковольтных системах электроснабжения общего назначения. Технические средства с потребляемым током не более 16 А (в одной фазе), подключаемые к электрической сети при несоблюдении определенных условий подключения. Нормы и методы испытаний. – М.: Стандартинформ, 2014.

28. ГОСТ 30804.3.11–2013. Совместимость технических средств электромагнитная. Колебания напряжения и фликер, вызываемые техническими средствами с потребляемым током не более 75 А (в одной фазе), подключаемыми к низковольтным системам электроснабжения при определенных условиях. Нормы и методы испытаний. – М.: Стандартинформ, 2014.

29. *The Electricity Safety, Quality and Continuity Regulations*. – 2012. No. 381. – Режим доступа: <http://www.legislation.gov.uk/nisr/2012/381/made>.

30. *Закон КНР «О договорах»*, – Гл. X, ст. 177, 179. – Режим доступа: <http://law.uglc.ru/agreement.htm>.

31. Тухас В.А., Эйнтрон С.А., Пожидаев С.В. Построение территориальной системы мониторинга показателей качества электроэнергии в режиме реального времени // ЭЛЕКТРО. – 2005. – № 1. – С. 16–20.

32. *Постановление* Правительства РФ от 27.12.2004 г. № 861 «Об утверждении Правил недискриминационного доступа к услугам по передаче электрической энергии и оказания этих услуг, Правил недискриминационного доступа к услугам по оперативно-диспетчерскому управлению в электроэнергетике и оказания этих услуг, Правил недискриминационного доступа к услугам администратора торговой системы оптового рынка и оказания этих услуг и Правил технологического

присоединения энергопринимающих устройств потребителей электрической энергии, объектов по производству электрической энергии, а также объектов электросетевого хозяйства, принадлежащих сетевым организациям и иным лицам, к электрическим сетям».

33. *The Distribution Code of Great Britain. Issue 22.* – 2014. – Режим доступа: <http://www.energynetworks.org/assets/files/electricity/engineering/DCRP/DistributionCodev22.pdf>.

34. *Engineering Recommendation G5/4–1. Planning levels for harmonic voltage distortion and the connection of nonlinear equipment to transmission systems and distribution networks in the United Kingdom.* Energy Network Association, Oct. 2005.

35. *Федеральный закон РФ от 27.12.2002 г. № 184–ФЗ «О техническом регулировании».*

36. *Технический регламент Таможенного союза ТРТС 020/2011 «Электромагнитная совместимость технических средств».* Решение Комиссии Таможенного союза от 09.12.2011 г. № 879.

37. *Добрусин Л.А.* Проблема качества электроэнергии и электросбережения в России // *Энергоэксперт.* – 2008. – № 4(9). – С. 30–35.

38. *Мэнсон Д.* Решение проблемы качества электроэнергии дешевле, чем терпеть от нее убытки // *Энергоэксперт.* – 2008. – № 4(9). – С. 49–52.

39. *Федеральный закон РФ от 26.03.2003 № 35–ФЗ «Об электроэнергетике».*

40. *Постановление Правительства РФ от 04.05.2012 г. № 442 «О функционировании розничных рынков электрической энергии, полном и (или) частичном ограничении режима потребления электрической энергии».*

41. *Воронин В., Гаджиев М., Шамонов Р.* Направления развития системы регулирования напряжения и реактивной мощности в ЕНЭС // *Электроэнергия: Передача и распределение.* – 2012. – № 2(11). С. 38–45.

42. *Большаков О., Воронин В., Шамонов Р., Тульский В.* Подходы к обеспечению нормативного качества электроэнергии // *Электроэнергия: Передача и распределение.* – 2014. – № 1(22). – С. 112–115.

43. *Правила присоединения потребителей к сети общего назначения по условиям влияния на качество электроэнергии* // *Промышленная энергетика.* – 1991. – №8. – С. 45–48.

44. *Правила применения скидок и надбавок к тарифам за качество электроэнергии* // *Промышленная энергетика.* – 1991. – №8. – С. 49–51.

45. *Коверникова Л., Тульский В., Шамонов Р.* Качество электроэнергии в ЕЭС России. Текущие проблемы и необходимые решения // *Электроэнергия: Передача и распределение.* – 2016. – № 2(35). – С. 28–38.

46. *Боровиков В.С., Волков М.В., Иванов В.В. и др.* Опыт корпоративного обследования электрических сетей 110 кВ Сибири. Томск: Изд-во Том. политех. ун-та, 2010.

47. *Постановление Правительства РФ от 11.07.2001 г. № 526 «О реформировании электроэнергетики Российской Федерации».*

48. Сюсюкин А.И. Рынок электроэнергии. Возможна ли эффективная конкуренция? – Режим доступа: <http://portal-energo.ru/articles/details/id68>.

Глава 3

1. *Федеральный закон* РФ от 07.02.1992 г. № 2300–1 «О защите прав потребителей» (ред. от 03.07.2016 г.).

2. *Федеральный закон* РФ от 27.12.2002 г. № 184–ФЗ «О техническом регулировании».

3. *Федеральный закон* РФ от 26.03.2003 г. № 35–ФЗ «Об электроэнергетике».

4. *Постановление* Правительства РФ от 04.05.2012 г. № 442 «О функционировании розничных рынков электрической энергии, полном и (или) частичном ограничении режима потребления электрической энергии».

5. *Постановление* Правительства РФ от 01.12.2009 г. № 982 «Об утверждении единого перечня продукции, подлежащей обязательной сертификации, и единого перечня продукции, подтверждение соответствия которой осуществляется в форме принятия декларации о соответствии».

6. *Постановление* Госстандарта РФ от 16.07.1999 г. № 36 «О правилах проведения сертификации электрооборудования» (ред. от 21.08.2002 г.).

7. ГОСТ 32144–2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: Стандартинформ, 2014.

8. *Кодекс* Российской Федерации «Об административных правонарушениях» от 30.12.2001 г. № 195–ФЗ.

9. *Правила* технической эксплуатации электрических станций и сетей в Российской Федерации / Мин. топлива и энергетики РФ, РАО «ЕЭС России»: РД 34.20.501–95. – 15-е изд., перераб. и доп. – М.: СПО ОРГРЭС, 1996.

10. Суднова В.В., Карташев И.И., Тульский В.Н., Козлов В.В. Допустимые отклонения напряжения в точках передачи электроэнергии // *Новости электротехники*. – 2013. – № 4 (82). – Режим доступа: <http://news.elteh.ru/arh/2013/82/07.php>.

11. Суднова В.В., Карташев И.И., Тульский В.Н., Козлов В.В. Диапазоны отклонений напряжений в точках передачи электроэнергии. Необходимость дифференцирования // *Новости электротехники*. – 2014. – №2 (86). – Режим доступа: <http://news.elteh.ru/arh/2014/86/05.php>.

12. Суднова В.В. Договорные условия в части допустимых уровней напряжения в точках передачи электрической энергии смежных сетевых организации // *Энергорынок*. – 2014. – № 10(125). – С. 37–40.

13. Файбисович Д. Каким быть номинальному напряжению в распределительных сетях? // *Новости электротехники*. – 2003. – №4 (22). – Режим доступа: <http://news.elteh.ru/arh/2003/22/04.php>.

Глава 4

1. ГОСТ 32144–2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: Стандартинформ, 2014.

2. ГОСТ 33073–2014. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Контроль и мониторинг качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: Стандартинформ, 2014.

3. *Федеральный закон* Российской Федерации от 07.02.1992 г. № 2300–1–ФЗ «О защите прав потребителей» (ред. от 13.08.2015 г. № 233–ФЗ).

4. *Постановление* Правительства Российской Федерации от 01.12.2009 г. № 982 «Об утверждении единого перечня продукции, подлежащей обязательной сертификации, и единого перечня продукции, подтверждение соответствия которой осуществляется в форме принятия декларации о соответствии».

5. *Шпак Д.А., Баринов В.М., Попов О.Ю.* Качество электрической энергии на примере города-миллионника // *Электроэнергия: Передача и распределение.* – 2014. – № 3. – С. 60–64.

6. ГОСТ 13109–97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. ИПК. Издательство стандартов. – М., 2005.

7. РД 153–34.0–15.501–00. Методические указания по контролю и анализу качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Ч. 1: Контроль качества электрической энергии.

8. РД 153–34.0–15.502–2002. Методические указания по контролю и анализу качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Ч. 2: Анализ качества электрической энергии.

9. Никифоров В.В. Государственное регулирование в электроэнергетике и проблемы контроля и обеспечения качества электрической энергии // 5-я науч.–тех. конф. «Энергия белых ночей»: Сб. докл. – С-Пб., 2012. – С. 5–15.

10. ГОСТ 30804.4.30–2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Методы измерений показателей качества электрической энергии. – М.: Стандартинформ, 2014.

11. ГОСТ 32145–2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Контроль качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: Стандартинформ, 2014.

12. ГОСТ Р 54149–2010. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: Стандартинформ. 2012.

13. *Приказ* Росстандарта от 25.10.2012 г. № 565–ст «О продлении действия на территории Российской Федерации ГОСТ 13109–97».

14. *Федеральный закон* Российской Федерации от 26.03.2003 г. № 35–ФЗ «Об электроэнергетике».

15. *Постановление* Правительства РФ от 27.12.2004 г. № 861 «Правила недискриминационного доступа к услугам по передаче электрической энергии и оказания этих услуг».

16. *Сайт* Комитета по энергетике и инженерному обеспечению Санкт-Петербурга. – Режим доступа: <http://gov.spb.ru/gov/otrasl/ingen/>.

17. *Воронин В.Т., Гаджиев М.Г., Шамонов Р.Г.* Направления развития системы регулирования напряжения и реактивной мощности в ЕНЭС // *Электроэнергия: Передача и распределение.* – 2012. – № 2. – С. 40–47.

Глава 5

1. ГОСТ Р 54130–2010. Качество электрической энергии. Термины и определения. – М.: Стандартинформ, 2012.

2. ГОСТ 32144–2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: Стандартинформ, 2014.

3. ГОСТ 33073–2014. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Контроль и мониторинг качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: Стандартинформ, 2014.

4. ГОСТ 29322–92. Стандартные напряжения. ИПК. Издательство стандартов. – М., 2005.

5. ГОСТ 29322–2014 (IEC 60038:2009). Межгосударственный стандарт. Напряжения стандартные. – М.: Стандартинформ, 2015.

6. ГОСТ 721–77. Межгосударственный стандарт. Системы электроснабжения, сети, источники, преобразователи и приемники электрической энергии. Номинальные напряжения свыше 1000 В. ИПК. Издательство стандартов. – М., 2002.

7. *Гражданский кодекс* Российской Федерации. Ч. 2. – М.: Ось–89, 1996.

8. *Федеральный закон* Российской Федерации от 07.02.1992 г. № 2300–1–ФЗ «О защите прав потребителей» (ред. от 13.08.2015 г. № 233–ФЗ).

9. *Постановление* Правительства Российской Федерации от 01.12.2009 г. № 982 «Об утверждении единого перечня продукции, подлежащей обязательной сертификации, и единого перечня продукции, подтверждение соответствия которой осуществляется в форме принятия декларации о соответствии».

10. *Постановление* Госстандарта РФ от 16.07.1999 г. № 36 «О Правилах проведения сертификации электрооборудования» (с изменениями от 02.08.2002 г.).

11. *Постановление* Правительства РФ от 27.12.2004 г. № 861 «Об утверждении Правил недискриминационного доступа к услугам по передаче электрической энергии и оказания этих услуг, Правил недискриминационного доступа к услугам по оперативно-диспетчерскому управлению в электроэнергетике и оказания этих услуг, Правил недискриминационного доступа к услугам администратора торговой системы оптового рынка и оказания этих услуг и Правил технологического

присоединения энергопринимающих устройств потребителей электрической энергии, объектов по производству электрической энергии, а также объектов электросетевого хозяйства, принадлежащих сетевым организациям и иным лицам, к электрическим сетям».

12. *Постановление* Правительства РФ от 04.05.2012 г. № 442 «О функционировании розничных рынков электрической энергии, полном и (или) частичном ограничении режима потребления электрической энергии» (ред. от 20.10.2016 г.).

13. *Приказ* Минпромэнерго РФ от 22.02.2007 г. № 49 «О Порядке расчета значений соотношения потребления активной и реактивной мощности для отдельных энергопринимающих устройств (групп энергопринимающих устройств) потребителей электрической энергии, применяемых для определения обязательств сторон в договорах об оказании услуг по передаче электрической энергии (договорах энергоснабжения)».

14. ГОСТ 13109–97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. ИПК. Издательство стандартов. – М., 2005.

15. *Федеральный закон* от 29.06.2015 г. № 162–ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации» (ред. от 03.07.2016 г.).

16. *Федеральный закон* РФ от 26.03.2003 г. № 35–ФЗ «Об электроэнергетике».

17. *Дело* № А40–191207/14. – Режим доступа: <http://www.msk.arbitr.ru>

18. *Шамонов Р.Г.* Оценка влияния батарей статических конденсаторов на высшие гармонические составляющие напряжения в магистральных электрических сетях. «Энергия единой сети», апрель – май 2015 г. – С. 22–29. – Режим доступа: <http://энергия-единой-сети.рф/about/>.

19. *Коверникова Л.И., Тульский В.Н., Шамонов Р.Н.* Качество электроэнергии в ЕЭС России: Текущие проблемы и необходимые решения // Электроэнергия: Передача и распределение. – 2016. – № 2(35). – С. 28–38.

20. *Гамазин С.И., Петрович В.А.* Определение фактического вклада потребителя в искажении параметров качества электрической энергии // Промышленная энергетика. – 2003. – № 1. – С. 32–38.

21. *Васильева Е.И.* Определение фактического вклада потребителей и системы в несинусоидальность напряжения на основе активных экспериментов: Дисс. канд. тех. наук. Мос. энергетич. Ин-т (тех. ун-т). – М., 2008 г.

22. *Суднова В.В., Пригода В.П., Хакимов Р.Р.* Принципы построения информационно-измерительной системы мониторинга показателей качества электроэнергии и управления качеством электроэнергии // Энергонадзор и энергобезопасность. – 2006. – № 3. – С. 44–50.

23. *Калинников К.* Системы непрерывного контроля качества электроэнергии электросетевой компании // Электроэнергия: Передача и распределение. – 2013. – № 4(19). – С. 54–59.

24. *Максимов В.П.* Потребительская оценка качества электроэнергии // Управление качеством электрической энергии: Сб. тр. Междунар. науч.–практ. конф. Москва, 26–28 ноября 2014 г.. – М., 2014. – С. 129–136.
25. *Неганов Л.В., Тульский В.Н., Олексюк Б.В.* Концепция системы мониторинга показателей бесперебойности электроснабжения потребителей МО // Электроэнергия: Передача и распределение. – 2016. – №1 (34). – С. 30–35.
26. *Тульский В.Н., Олексюк Б.В., Березовский В.С.* Исследование структур систем мониторинга качества электроэнергии с учетом зарубежного опыта // Электроэнергетика глазами молодежи: тр. VI междунар. науч.-тех. конф. 9–13 ноября 2015 г., Иваново, Ивановский гос. энергетич. ун-т им. В.И. Ленина. – Иванова, 2015. – С. 439–442.
27. IEEE Std 1159–1995. IEEE Recommended practice for monitoring electric power quality. – Режим доступа: <https://standards.ieee.org>.
28. *Quality of supply customers requirements.* Working group 37.28. CIGRE, June 2001.
29. *Akabane K., Nara K., Mishima Y., Tsuji K.* Optimal geographical allocation of power quality control centers by Voronoi diagram, Proc. of 14-th PSCC, Sevilla, 24–28 June 2002.
30. *Bollen M., Baumann P., Beyer Y. et al.* Guidelines for good practice on voltage quality monitoring. Proc. of 22-nd International conference on electricity distribution, Stockholm, 10–13 June 2013.
31. *Guidelines of good practice on the implementation and use of voltage quality monitoring systems for regulatory purposes.* CEER/ECRB, 3 December 2012, Ref: C12–EQS–51–03. – Режим доступа: <https://www.energy-community.org>.
32. EN 50160:2010. Voltage characteristics of electricity supplied by public electricity networks.
33. *Априллага Дж., Д. Брэдли, П. Боджер.* Гармоники в электрических системах: Пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1990.
34. *Czarnecki L.S.* Working, reflected and detrimental active powers, IET Generation, Transmission & Distribution. – Vol. 1. – 2012. – P. 1–7.
35. *Жежеленко И.В.* Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 2000.
36. *Kovernikova L.I.* Estimation of damage from higher harmonics. Liberalization and Modernization of Power Systems: Risk Assessment and Optimization for Asset Management. The 3-rd International Workshop. Proceedings / Ed. by N.I. Voropai, E.J. Handschin.– Energy Systems Institute. – Irkutsk, 2006. – P. 201–204.
37. *Bhattacharyya S., Michiel van Lumig, Cobben S. et al.* Consequences of poor power quality for grid operators, Proceedings of the 20-th International Conference on Electricity Distribution, Prague, 8–11 June, 2009. – Режим доступа: <http://www.cired.net/publications/cired2009>.
38. *Hartungi R., Jiang L.* Investigation of power quality in health care facility, Proceedings of the International Conference on Renewable Energies and Power Quality, Granada, Spain, 23–25 March, 2010. – Режим доступа: <http://www.icrepq.com/icrepq10/555-Hartungi.pdf>.

39. *Targosz R., Chapman D.* Application note. Cost of poor power quality. Режим доступа: <http://www.leonardo-energy.org/node/141781/>.
40. *Emanuel A.E.* Power definitions and physical mechanism of power flow. – John Wiley & Sons, 2010.
41. *Kazibwe W.E., Ortmeier T.H., Hammam M.S.A.A.* Summation of probabilistic harmonic vectors // *IEEE Transactions on Power Delivery.* – Vol.4. – 1989. – P. 621–628.
42. *Stevens R.H.* Power flow direction definitions for metering bidirectional power // *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems.* – Vol.102. – № 9. – Sept. 1983. – P. 3018–3021.
43. *Irwin J.O.* On a criterion for the rejection of outlying observations // *Biometrika.* – Vol. 17. – Issue 3–4, 1925. – P. 238–250.
44. *Кобзарь А.И.* Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012.
45. *Правила* присоединения потребителей к сети общего назначения по условиям влияния на качество электроэнергии // *Промышленная энергетика.* – 1991. – № 8. – С. 45–48.
46. *Зыкин Ф.А.* Определение степени участия нагрузок в снижении качества электроэнергии // *Электричество.* – 1992. – № 1. – С. 13–19.
47. *Карташев И.И., Пономаренко И.С., Сыромятников С.Ю., Гук Л.Л.* Способ инструментального выявления источников искажения напряжения и определения их влияния на качество электроэнергии // *Электричество.* – 2001. – № 3. – С. 2–7.
48. *Геворкян В.М., Михалин С.Н.* Проблема учета фактического вклада субъектов электрических сетей в искажение параметров качества электрической энергии // *Технологии ЭМС.* – 2007. – № 1 (20). – С. 3–10
49. *Тигунцов С.Г., Луцкий И.И.* О вкладе потребителя в качество электрической энергии // *Энергетика и промышленность России.* – 2007. – № 3(79).
50. *Pfajfar T., Blazic B., Papic I.* Harmonic contribution evaluation with the harmonic current vector method // *IEEE Transactions on Power Delivery.* – Vol. 23. – No. 1. – January 2008. – P. 425–433.
51. *Sergio Ferreira de Paula Silva, Jose Carlos de Oliveira.* The sharing of responsibility between the supplier and the consumer for harmonic distortion: A case study. Elsevier, Electric Power Systems research 78 (2008). – P. 1959–1954.
52. *Costa F.H., Santos I.N., Silva S.F.P., De Oliveira J.C.* A Case study of sharing the harmonic voltage distortion responsibility between the utility and the consumer. Proc. of International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'09). – Valencia, Spain, 15–17 April, 2009.
53. *Kandev N.P., Chenard S.* Method for determining customer contribution to harmonic variations in a large power network. Proc. of the 14-th International Conference on Harmonics and Quality of Power. – Bergamo, Italy, 26–29 September, 2010.
54. *Коверникова Л.И.* Некоторые свойства параметров режимов гармоник в сети с распределенными нелинейными нагрузками // *Управление качеством элект-*

трической энергии: Сб. тр. Междунар. науч.- практ. конф. (Москва, 26–28 ноября 2014 г.) – М.: ООО «Центр полиграфических услуг Радуга», 2014. – С. 101–108.

55. *Суслов К.В., Степанов В.С., Солонина Н.Н., Солонина З.В.* Распределенный мониторинг качества электрической энергии в интеллектуальных электрических сетях // Управление качеством электрической энергии: Сб. тр. Междунар. науч.-практ. конф. (Москва, 26–28 ноября 2014 г.) – М.: ООО «Центр полиграфических услуг Радуга», 2014. – С. 329–335.

56. *Соколов В.С., Ермилов М.А., Серков А.В. и др.* Проблемы установления размера ответственности за ухудшение качества электрической энергии и пути их решения // Промышленная энергетика. – 2000. – № 8. – С. 52–54.

57. *Arrillaga Jos. Watson N.R.* Power system harmonics – 2-nd ed. – Chichester: Wiley, 2003.

58. *Kawann C., Emanuel A.E.* Passive shunt harmonic filters for low and medium voltage: A cost comparison study // IEEE Trans. on Power Systems. – 1996. – Vol. 11, No 4. – P. 1825–1831.

59. *Дьяков, А.Ф., Ишкин В.Х., Мамиконянц Л.Г.* Актуальные проблемы и прогресс в области электроэнергетики // Электричество. – 1997. – № 6. – С. 61–68.

60. *Thomas H. Ortmeier, Takashi Hiyama.* Distribution system harmonic filter planning // IEEE Trans. on Power Delivery. – 1996. – Vol. 11, No. 4. – P. 2005–2012.

61. *Mattavelli P.* Design of harmonic filters for high-power ac/dc converters. Proc // IEEE Power Eng. Soc. – 2000. – P. 795–799.

62. *Mau Teng Au, Milanovic Jovica V.* Planning approaches for the strategic placement of passive harmonic filters in radial distribution networks // IEEE Trans. on Power Delivery. – 2007. – Vol. 22, No. 1. – P. 347–353.

63. *Gary W. Chang, Hung-Lu Wang, Gen-Sheng Chuang, Shou-Yung Chu.* Passive harmonic filter planning in a power system with considering probabilistic constraints // IEEE Trans. on Power Delivery. – 2009. – Vol.24, No. 1. – P. 208–217.

64. *Kovernikova L.I.* Centralized normalization of harmonic voltages in the supply network for traction substations. Proc. of International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'09), Valencia, Spain, 15–17 April, 2009.

65. *Добрусин Л.А., Джафаров З.Т.* Комплексный метод и его применение при проектировании фильтрокомпенсирующих структур // Электричество. – 1986. – № 8. – С. 21–27.

66. *Czarnecki L.S., Herbert L. Ginn III,* The effect of the design method on efficiency of resonant harmonic filters // IEEE Trans. on Power Delivery. – 2005. – Vol. 20, No 1. – P. 286–291.

67. IEEE Std 1531–2003. Guide for Application and Specification of Harmonic Filters.

68. *Gary W. Chang, Hung-Lu Wang, Shou-Yung Chu.* Strategic placement and sizing of passive filters in a power system for controlling voltage distortion // IEEE Transactions on Power Delivery. – 2004. – Vol. 19, No 3. – P. 1204–1211.

69. Gary W. Chang, Shou-Yung Chu, Hung-Lu Wang. Sensitivity-based approach for passive harmonic filter planning in a power system. Proc. IEEE Power Eng. Soc., Winter meeting. – 2002. – P. 937–940.

70. Коверникова Л.И. Централизованное снижение напряжений высших гармоник в сети высокого напряжения с распределенными нелинейными нагрузками с помощью пассивных фильтров // Электричество. – 2010. – № 9. – С. 50–55.

71. Жежеленко И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий. – 4-е изд. М.: Энергоатомиздат, 2000.

72. Zhezhelenko I.V., Saenko Y.L., Gorpinich A.V. Economical damage due to low power quality. Proc. of 9-th International Conference on Electrical Power Quality and Utilization, 2007.

73. Ginn H.L., Czarnecki L.S. An optimization based method for selection of resonant harmonic filter branch parameters // IEEE Trans. on Power Delivery. – 2006. – Vol. 21, No 3. – P. 1445–1451.

74. Kovernikova L.I. The problems of centralized decrease of harmonic voltages in the HV networks with distributed nonlinear loads. Proc. of the 14-th International Conference on Harmonics and Quality of Power. – Bergamo, Italy, 26–29 September, 2010.

75. Wakileh G. J. Power System Harmonics. Springer–Verlag: Berlin, 2001.

76. Коверникова Л.И., Нгуен Чи Тхань, Хамисов О.В. Оптимизационный подход к определению параметров пассивных фильтров // Электричество. – 2012. – № 1. – С. 43–49.

77. Eberhart R.C., Shi Y. Particle swarm optimization: developments, applications and resources. Proc. of the Congress on Evolutionary Computation. 2001. – Vol. 1.

78. Richard H.B., Mary E.H., Nocedal J. An interior point algorithm for large scale nonlinear programming // SIAM Journal on optimization. – 1999. – Vol. 9, No 4.

ПРИНЯТЫЕ СОКРАЩЕНИЯ

АНО – автономная некоммерческая организация
АО – акционерное общество
АРНТ – автоматический регулятор напряжения трансформатора
ВАС РФ – Высший Арбитражный Суд Российской Федерации
ВЛ – воздушная линия
ВРУ – вводное распределительное устройство
ГК – Гражданский кодекс Российской Федерации
ГРЭС – государственная районная электростанция
ЕНЭС – единая национальная энергетическая система
ЕСОКЭ – единая система обеспечения качества электрической энергии
ЕЭС – единая энергетическая система
ЗАО – закрытое акционерное общество
ИТ – информационные технологии
КоАП РФ – Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях
МРСК – межрегиональная распределительная сетевая компания
МТУ – межрегиональное территориальное управление
МЭИ – Московский энергетический институт
МЭС – магистральные электрические сети
НП – некоммерческое партнерство
ОАО – открытое акционерное общество
ОРЭМ – оптовый рынок электрической энергии и мощности
ОЭС – объединенная энергетическая система
ПАО – публичное акционерное общество
ПБВ – переключение без возбуждения
ПСК – Петербургская сбытовая компания
РПН – регулирование под нагрузкой
РРЭМ – розничный рынок электрической энергии и мощности
РЭС – районные электрические сети
РУ – распределительное устройство
СО – системный оператор
СТО – стандарты организации
ОТТ – общие технические требования
ТГК – территориальная генерирующая компания
ТЭЦ – теплоэлектроцентраль
ФСК ЕЭС – Федеральная сетевая компания Единой энергетической системы

Научное издание

**Качество электрической энергии
современное состояние, проблемы,
предложения по их решению**

Редактор: Е.М. Исаевич

Подписано в печать 00.00.2017. Бумага офсетная. Формат 70х80 1/16

Усл. печ. л. 000. Уч.–изд. л. 000 Тираж 000. Заказ № 000.

“Наука” Сибирское предприятие РАН. 630099, Новосибирск, ул. Советская, 18.

Отпечатано на ризографе полиграфическим участком ИСЭМ СО РАН

664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 130